

Digitized by the Internet Archive
in 2010 with funding from
Open Knowledge Commons and Harvard Medical School

<http://www.archive.org/details/dieelektrizitt00boru>

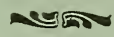
S. R. C.

22.6.1905

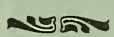
DIE ELEKTRIZITÄT

IN DER

MEDIZIN UND BIOLOGIE.



EINE ZUSAMMENFASSENDE DARSTELLUNG FÜR
MEDIZINER, NATURFORSCHER UND TECHNIKER.



VON

PROF. DR. MED. H. BORUTTAU
IN GÖTTINGEN.

— ○ MIT 127 ABBILDUNGEN IM TEXTE. ○ —

57

WIESBADEN.

VERLAG VON J. F. BERGMANN.

1906.

Soeben erschienen:

DER ARZT.

Einführung

in die

Ärztlichen Berufs- und Standesfragen.

In 16 Vorlesungen.

Anhang:

Gesetz betreffend die Bekämpfung übertragbarer Krankheiten.

Von

Professor Dr. E. Peiper, Greifswald.

Mk. 5.—, gebunden Mk. 6.—.

Aus Besprechungen:

Diese soeben erschienene Schrift bringt den Text der Vorlesungen, welche Verfasser seit mehreren Jahren an der Universität Greifswald gehalten hat. Sie ist „den Deutschen Ärzten gewidmet“, und wir müssen mit ganz besonderem Danke anerkennen, dass Herr Professor Peiper, als bisher einziger deutscher Universitätslehrer, mit Einführung gerade dieser Vorlesung einem wiederholt auf Ärztetagen geäußerten Wunsche der Vertreter der deutschen Ärzte, wie auch einem tatsächlichen Bedürfnisse für den zukünftigen Arzt entgegengekommen ist.

Die Zusammenstellung, Sichtung und formelle Fassung des Stoffes für den besonderen vorliegenden Zweck und für das in den meisten bezüglichen Fragen noch sehr wenig erfahrene Auditorium ist sicherlich keine leichte Arbeit gewesen. Sie hat auch nur geleistet werden können von einem Arzte, welcher die Geschichte seines Standes und dessen Organisation, seine jahrelangen schweren Kämpfe um vollberechtigte Forderungen, seine missliche gegenwärtige Lage, wie auch deren Ursachen und die Wege zur Anbahnung besserer Zustände studiert hat und kennt, und welcher seinen Stand gebührend hochhält. Dass alle diese Voraussetzungen für den Verfasser zutreffen, ergibt der Inhalt der Vorlesungen. Und wenn Herrn Prof. Peiper zur Sammlung seines Materials wie aus den Zitaten ersichtlich, in umfänglicher Weise das Organ des Deutschen Ärztevereinsbundes, unser Blatt, hat dienlich sein können, so darf dies unserem Bunde, seinen Zielen und seinem Organe sicher zur Genugtuung und Freude gereichen. —

Wir wünschen für die vorliegende Schrift, in der auch der fertige Arzt manchen nützlichen Wink und manches ihn Interessierende finden wird, weitest Verbreitung in ärztlichen Kreisen wie unter den Studierenden der Medizin, und behalten uns vor auf deren Inhalt zurückzukommen.

Möchte sie aber auch auf allen anderen deutschen Universitäten Anregung zur Einrichtung von Vorlesungen gleicher Art geben!

Ärztl. Vereinsbl.

DIE ELEKTRIZITÄT
IN DER
MEDIZIN UND BIOLOGIE.



11707

Nachdruck verboten.
Übersetzungsrecht in alle Sprachen vorbehalten.

Einleitung, zugleich Vorwort.

Kaum irgend ein Wissensgebiet leidet in gleichem Masse an der Zersplitterung seiner Literatur, an der Einseitigkeit seiner Darstellungen wie die Elektrobiologie und Elektromedizin. Die Ursache liegt offenbar darin begründet, dass seine einzelnen Teile sich fast völlig unabhängig voneinander und nebeneinander entwickelt haben: die „allgemeine Muskel- und Nervenphysiologie“, in Übertreibung der Exaktheitsbestrebungen als „Muskel- und Nervenphysik“ bezeichnet, welche sich der Elektrizität als Reiz in weitgehendem Masse bediente und die bioelektrischen Erscheinungen zunächst nur an Muskeln, Nerven und elektrischen Organen der Zitterfische studierte, wurde ein Spezialgebiet, dessen Berührungen mit den praktischen Zielen der Ärzte, welche die Elektrizität zu Heilzwecken, weiterhin zur Untersuchung entarteter Muskeln und Erkennung von Nervenkrankheiten benutzten, sich immer mehr lockerten. Die enormen Fortschritte der Elektrotechnik wurden in recht empirischer Weise in den Dienst der Praktiker gestellt; dazu brachte die Erzeugung und Anwendung der Starkströme in der Industrie eine Häufung von durchaus neuartigen tödlichen Unfällen und Schädigungen des menschlichen Körpers, welche das Objekt der Untersuchung seitens durchaus nicht immer in den nötigen Grundlagen genügend versierter Forscher wurden. Schliesslich, jedoch besonders bemerkenswerterweise, haben die modernen Fortschritte der rein physikalischen, theoretischen wie experimentellen Elektrizitätslehre, besonders auch der Elektrochemie, neues Licht auf so manche grundlegende Tatsache der Elektrophysiologie, -Diagnostik und -Therapie geworfen, neue Methoden und ungeahnte Fortschritte in viele ihnen bisher verschlossene medizinische Disziplinen gebracht, und es hat endlich die mehr biologische, vergleichende Betrachtung und Untersuchung der elektrischen Erscheinungen an lebenden Gebilden die Anschauungen auch auf diesem Gebiete wesentlich erweitert

und verändert. Dass die Arbeiten auf diesem Gesamtgebiete unter solchen Umständen sich durchaus spezialisiert haben, dass der einzelne die Übersicht verlor und naheliegende Zusammenhänge mit den Aufgaben des anderen nicht erkannte, ist nur zu natürlich. Diese Einseitigkeit und der Mangel an zusammenfassenden Darstellungen hat dazu geführt, dass trotz emsiger Arbeit, trotz wirklicher Fortschritte alles elektrobiologische und elektromedizinische in der Achtung und Wertschätzung der Wissenschaft, des ärztlichen und allgemeinen Publikums eher gesunken als gestiegen ist.

Dazu kommen noch andere Unglücksfaktoren. In der Lehre von den bioelektrischen Erscheinungen hat sich seit den grundlegenden Arbeiten E. du Bois-Reymonds eine scharfe, oft den Fernstehenden abstossende, schier unausrottbare Polemik festgesetzt, die dabei keineswegs die Tatsachen, sondern wesentlich nur die Erklärung, die Theorie betraf¹⁾, schliesslich aber dazu führen musste, dass das Publikum, selbst das ärztliche und naturforschende, das einst so rege Interesse an der Sache gänzlich verlor, im Gegenteil den ganzen Gegenstand für wissenschaftlich wertlos hielt²⁾. Etwas Ähnliches könnte übrigens leicht die Folge des neuerdings entbrannten Streites um die Erregungsgesetze sein, — einer Frage von unmittelbarer praktischer Bedeutung! Die, wie schon erwähnt, vielfach rein empirisch und ohne Fühlung mit der Wissenschaft erfolgte Einführung neuer elektrischer Heilmethoden, deren wirklicher Wert in kritischer Beleuchtung zudem sehr zweifelhaft erscheint, hat ferner dazu geführt, dass ein Teil der elektrotechnischen Industrie aus Geschäftsrücksichten sich einer durchaus unwissenschaftlichen Reklame zu bedienen begann, nicht immer mit den lautesten Elementen Fühlung nahm, ihre Apparate und Einrichtungen Laien überliess, welche bei unserer lieben deutschen Kurierfreiheit Heilanstalten zu gründen und zu leiten sich vermessen dürfen — kurz eine Erscheinung ins Leben trat, die ich als „elektrotechnische Kurpfuscherei“ bezeichnen möchte.

Was nun endlich die der gesamten Biologie und Medizin zugute kommenden neuen physikochemischen, resp. elektrochemischen Forschungsmethoden betrifft, so sind diese ja mit Fleiss und Eifer von jüngeren, gründlich vorgebildeten Forschern teils geschaffen, teils angewendet und

1) Vergleiche meine Ausführungen in Pflügers Archiv f. d. ges. Physiologie, Bd. 105, S. 427; 1904.

2) Wie oft habe ich hochgebildete Ärzte äussern hören: „du Bois-Reymond hatte den Wert der tierischen Elektrizität der Welt vorgetäuscht, seit Hermann wissen wir, dass es sich nur um bedeutungslose äussere Begleiterscheinungen der Lebensvorgänge handelt“. Natürlich ist dies grundfalsch; es wird aber durch die Darstellungsweise der Heringschen Schule eine solche schiefe Meinung des Publikums eher gefördert als verhindert und das Interesse für den inneren Zusammenhang erhöht. Ich hoffe in diesen Blättern diesen Zusammenhang an entsprechenden Stellen kurz und bündig klargelegt zu haben.

weiter ausgebildet worden. Der ganzen älteren Ärztegeneration ist es andererseits unmöglich, ohne geeignete Hilfsmittel diesen Fortschritten zu folgen; und bei der bis jetzt vorherrschenden, die reale gegenüber der formalsprachlichen Seite zurücksetzende Vorbildung der jungen Mediziner, vielleicht auch der durchschnittlichen menschlichen Begabungsrichtung, ist es natürlich, dass zahlreiche junge Mediziner, wie auch Jünger der beschreibenden Naturwissenschaft die neuen Methoden nicht verstehen und nicht anwenden können, ebenso wie sie die diagnostischen und heilenden Anwendungen der Elektrizität rein empirisch, vom Standpunkt des Physikers und Technikers durchaus laienhaft¹⁾ betreiben.

Wie sucht nun diesen Missständen die Fachliteratur abzuhelpen? Meines Erachtens sehr mangelhaft oder gar nicht. Es gibt zahlreiche „Elektrizitätslehren für Mediziner“, Leitfäden der „medizinischen Elektrotechnik“, welche ein Neulernen oder Wiederholen (mit Berücksichtigung der modernen Anschauungen) desjenigen ermöglichen sollen, was auf dem Gebiete der physikalischen Elektrizitätslehre für den Mediziner von nöten ist; es gibt Lehrbücher und Taschenbücher der Elektrodiagnostik und Elektrophysiologie, mehr oder weniger empirisch oder theoretisch gehalten; die Elektrotherapie hat ihre rein spezialistische Riesenliteratur, es haben die modernen Anwendungen der Elektrotechnik als Hilfskraft für medizinische Zwecke, vor allem seit der Entdeckung und Anwendung der Röntgenschen Strahlen einen Berg von Spezialliteratur hervorgebracht; aber der Praktiker wie der Forscher wird vergebens nach etwas suchen, das ihm den inneren Zusammenhang vor Augen führte, das irgendwie betonte, was da „bildet den ruhenden Pol in der Erscheinungen Flucht“.

In der deutschen Literatur gibt es so etwas gar nicht; die dankenswerten, vielfach vorzüglichen Erläuterungen in den Katalogen der Fabriken für elektromedizin. Apparate (z. B. Reiniger, Gebbert u. Schall) können und wollen solchen Ansprüchen nicht genügen. Auch der zu umfangreiche italienische „Trattato pratico per le Ricerche di Elettricità in Medicina“ der Gebrüder Battelli (Rom, o. J.), ist mehr eine Kompilation von Apparatsbeschreibungen und Darstellung von Arbeitsmethoden, so vorzüglich klar vielfach auch die physikalischen Grundlagen dargestellt sind.

Bei der heutigen Entwicklung des Gesamtgebietes würde eine vollständige Darstellung des elektrobiologisch-elektromedizinischen Gesamtgebietes den Umfang eines mehrbändigen Lexikons annehmen und wäre nur durch Zusammenarbeiten mehrerer Autoren möglich. Hierdurch würde

¹⁾ Wie vielen tüchtigen jüngeren Ärzten ist der Unterschied zwischen Spannung und Stromstärke nicht klar zu machen! Wie viele Benützer eines elektrischen Instrumentariums mit Motor zur Vibrationsmassage etc. bezeichnen dessen Ansatzstücke ruhig als „Elektroden“!!

aber gerade die Darstellung des inneren Zusammenhanges leiden, ganz abgesehen davon, dass ein solches Riesenwerk vorläufig wohl kaum einen buchhändlerischen Erfolg haben könnte. Ich habe es daher versucht, soweit es in meinen Kräften stand, aus allen Einzelgebieten das Wichtigste zu nehmen und durch den Faden inneren, logischen Zusammenhanges zu verbinden, in dem Sinne, dass der Arzt, Forscher und Techniker in dem Buche, wenn auch nur kurz angedeutet, für jede seiner Handlungen, bei der elektrische Kräfte in Verwendung kommen, die Antwort finde auf die Fragen: was tust du da, wieso und warum? Eine kurze Darstellung der physikalischen und physikochemischen Grundlagen an die Spitze zu stellen, hielt ich für durchaus nötig; der mathematisch-physikalisch Vorgebildete wird sie ohne Schaden überschlagen können; irgendwie ausführlichere Ableitungen, gar Rechnungen mit Hilfe der höheren Mathematik wurden völlig vermieden, die jedem Techniker geläufigen Formeln aber überall angegeben, und soweit möglich mit Worten erklärt und bewiesen. Ich werde jedem, der mich auf Fehler und Mängel irgend welcher Art aufmerksam macht, von Herzen dankbar sein, und ich werde mich freuen, wenn es mir gelungen ist, allen interessierten Gebildeten das Zurechtfinden in dem Riesengebiet der Beziehungen zwischen Elektrizität und lebendigen Wesen auch nur etwas zu erleichtern.

Der Verfasser.

Inhalts - Verzeichnis.

Seite

Erster Abschnitt: Abriss der Elektrizitätslehre mit besonderer Rücksicht auf die medizinisch-biologischen Anwendungen	I
1. Positive und negative Elektrizität 1. 2. Leiter und Nichtleiter 2. 3. Elektrizitätsmenge 2. 4. Elektrisches Feld. Kraftlinien und Niveaulflächen. Potential 2. 5. Kapazität 4. 6. Influenz 4. 7. Dielektrikum; Elektrisiermaschinen 5. 8. Kondensatoren 5. 9. Dielektrizitätskonstante 7. 10. Feldstärke; Induktionslinien 8. 11. Magnetpole; Polstärke; magnetisches Moment 9. 12. Erdmagnetismus 10. 13. Magnetisches Feld; Permeabilität 11. 14. Magnetische Induktionslinien; Beziehungen zu elektrischen Stromlinien 11. 15. Galvanismus 13. 16. Konstante Elemente 15. 17. Elektromagnetismus 17. 18. Stromstärke 17. 19. Ohmsches Gesetz 18. 20. Widerstand. Spannung 18. 21. Stromverzweigung. Kurzschluss; Nebenschluss; Schaltung von Elementen 19. 22. Arbeit des Stromes; Joulesche Wärme 22. 23. Solenoid und Elektromagnet 23. 24. Induktionsströme 24. 25. Selbstinduktion; Extraströme. Schlitteninduktorium 24. 26. Eisenkerne. Kupferdämpfer. Funkeninduktor. Elektromagnetische Einheit der Elektrizität 28. 27. Magnetelektrische Maschinen. Pacinottischer Ring 29. 28. Dynamomaschinen. Spannungs- und Quantitätsströme 31. 29. Hochspannung. Transformatoren 32. 30. Wechselstrom-Motoren. Mehrphasenströme. Mehrleitersysteme 33. 31. Sinusströme. Theorie der Wechselströme 34. 32. Resonanz 36. 33. Hochfrequenzströme 37. 34. Elektrische Wellen. Drahtlose Telegraphie. Theoretische Bedeutung der neuentdeckten Strahlungserscheinungen 38. 35. Thermoelektrizität 40.	
Zweiter Abschnitt: Elektrische Messungen, mit Ausschluss der elektrochemischen	42
36. Absolute Masseinheiten 42. 37. Messung der Stromstärke. Galvanometer 43. 38. Messung von Wechselströmen 47. 39. Widerstandsmessung. Rheostaten 48. 40. Wheatstonesche Brücke 50. 41. Spannungsmessung 50. 42. Messung der elektrischen Arbeit 53.	
Dritter Abschnitt: Elektrolyse und Elektrochemie in ihren Beziehungen zur Biologie	54
43. Die physiologischen Wirkungen bewegter Elektrizität 54. 44. Elektrolytische Leitung; elektrolytische Dissoziation. Ionenwanderung 54. 45. Sekundäre Reaktionen. Produkte der Elektrolyse 57. 46. Nernsts Theorie der galvanischen	

Kette 58. 47. Anwendungen der elektrolytischen Erscheinungen 59. 48. Katakathese 61. 49. Diffusion und Elektrizitätserzeugung 62. 50. Konzentrationskette 63. 51. Anwendungen der Konzentrationskette 65.	
Vierter Abschnitt: Die bioelektrischen Erscheinungen	68
52. Allgemeines. Alterationstheorie. „Ruheströme“ 68. 53. Aktionsströme 70. 54. Größenordnung 70. 55. Erscheinungsweise und zeitlicher Ablauf der Aktionsströme 72. 56. Lokale Aktionsströme 76. 57. Positive Nachschwankung. Elektrotone Ströme 77. 58. Erklärung der bioelektrischen Erscheinungen nach dem Prinzip der Konzentrationskette; Grenzschichttheorie 78. 59. Bedeutung der „Alterationsnegativität“ 81.	
Fünfter Abschnitt: Die physiologischen Wirkungen der Elektrizität	82
60. Die Elektrizität als Reiz. Elektrophysiologie und Elektropathologie 82. 61. Leitungswiderstand des lebenden Körpers 83. 62. Die vier allgemeinen Erregungsgesetze: erstes Erregungsgesetz, von der Bedeutung der Stromdichte 85. 63. Zweites Erregungsgesetz, von der Bedeutung der Steilheit der Stromschwankung 85. 64. Drittes oder polares Erregungsgesetz 88. 65. Viertes Erregungsgesetz, von der stärkeren Wirkung der Kathodenschliessung 90. 66. Erklärung des polaren Erregungsgesetzes 91. 67. Elektrotone des Nerven 93. 68. Zuckungsgesetz für das ausgeschnittene Froschpräparat 95. 69. Durchströmung des unversehrten Körpers 96. 70. Zuckungsgesetz der Elektrodiagnostik; peripolare und tripolare Reizung 98. 71. Elektrische Reizeffekte an verschiedenen Organen 100. 72. Angebliche Reizeffekte des elektrischen und magnetischen Feldes 103.	
Sechster Abschnitt: Elektropathologie	105
73. Grundlagen der Schädigungen durch Elektrizität 105. 74. Der Tod durch Elektrizität 107. 75. Blitzschlag und Starkstrom 107. 76. Bedeutung der Stromstärke, Spannung und (bei Wechselstrom) Frequenz 108. 77. Bedeutung der Elektrodenlage 109. 78. Bedeutung der Tierart. Atmung und Herz. Obduktionsbefunde 110. 79. Muskelkrämpfe durch Starkstrom. Hilfe bei elektrischen Unfällen 113. 80. Elektrische Unfallneurosen 114. 81. Veränderungen der bioelektrischen Erscheinungen in pathologischen Zuständen 115. 82. Erhaltung der Alterationsregel und des polaren Erregungsgesetzes auch in pathologischen Zuständen 119.	
Siebenter Abschnitt: Elektrodiagnostik	121
83. Die elektrische Untersuchung der Muskel- und Nervenregbarkeit auf etwaige krankhafte Veränderungen 121. 84. Instrumentarium zur Untersuchung der „galvanischen“ Erregbarkeit 122. 85. Instrumentarium zur Untersuchung der „faradischen“ Erregbarkeit 124. 86. Elektroden usw. 125. 87. Elektrodiagnostische Methodik 126. 88. Entartungsreaktion 129. 89. Erklärung der Entartungsreaktion 132. 90. Faradokutane und faradomuskuläre Sensibilität. Pathologische Reaktionen der Sinnesorgane 134. 91. Elektrodiagnostik mit Kondensatorentladungen 135.	
Achter Abschnitt: Elektrotherapie	137
92. Allgemeines. Bedeutung der Suggestion. Wissenschaftliche Begründung 137. 93. Anwendungsformen der Elektrizität 139. 94. Galvanisation. Instrumentarium 140. 95. „Indikationen“ der Galvanisation 143. 96. Faradisation. Instrumentarium 144. 97. „Indikationen“ der Faradisation 145. 98. Galvanofaradisation 147.	

99. Sinusstrom 148. 100. Allgemeine Elektrisierung des menschlichen Körpers. Elektrische Bäder 150. 101. Franklinisation 152. 102. Arsonvalisation 155. 103. Chirurgische Elektrolyse 159. 104. Einführung von Medikamenten durch den Strom 161. 105. Elektromagnetische Therapie 162. 106. Faradisierung der Phrenici. Elektropunktur des Herzens. Elektronarkose 164.

Neunter Abschnitt: Die Elektrizität als Hilfskraft in der Medizin. 166

107. Allgemeines. Elektromotoren 166. 108. Augenelektromagnete 169. 109. Galvanokaustik. Elektrische Heizung 169. 110. Elektrische Beleuchtung. Endoskopie 172. 111. Lichttherapie 175. 112. Röntgenstrahlen. Allgemeines 178. 113. Stromquellen, Unterbrecher, Gleichrichter 180. 114. Röntgenröhren. Härtegrad 184. 115. Zubehör 186. 116. Therapeutische Verwendung der Röntgenstrahlen. Becquerelstrahlen, Radioaktivität 187.

Sach-Register. 189

Berichtigungen.

- S. 4, Z. 18 von unten sind die Worte: „resp. im Vakuum in den Äther“ zu streichen.
- S. 20: in Fig. 15 sollten, um den Stromverlauf darzustellen, die Pfeile auf der linken Seite die umgekehrte Richtung haben wie auf der rechten.
- S. 34 unten muss der letzte Satz lauten: „Leitet man von zwei diametral gegenüberliegenden Windungen des Pacinottischen Ringes, welcher zwischen den Polen eines permanenten oder Elektromagneten rotiert, vermitteltst zweier voneinander isoliert auf der Achse sitzender Ringe (Wechselstromringe) und darauf schleifender Federn ab, so erhält man gleichfalls Sinusstrom (d'Arsonval).“
- S. 36, Z. 3 von unten lies „zwei tönende“ statt „zweitönende“.
- S. 71, Fig. 57 lies „NaCl-Thon“ statt „Nacl-Thon“.

Erster Abschnitt.

Abriss der Elektrizitätslehre mit besonderer Rücksicht auf die medizinisch-biologischen Anwendungen.

1. Positive und negative Elektrizität.

Reibt man zwei Körper aneinander, so erlangen sie im allgemeinen beide die Fähigkeit, leichte Körperchen anzuziehen und abzustossen: „Elektrizität“, vom Bernstein, „Elektron“ (*ἤλεκτρον*), an welchem die Alten diese Fähigkeit zuerst bemerkten. Diese Fähigkeit ist bei dem geriebenen Körper anderer Natur, als bei dem „Reibzeug“: von dem ersteren angezogenen Körperchen erhalten durch „Berührung“ von ihm dieselbe Elektrizitätsart und werden hernach von ihm abgestossen, aber von anderen Körpern, insbesondere auch demjenigen, welcher als Reibzeug gedient hat, angezogen:

Die Körper lassen sich in eine Reihe ordnen, derart, dass jeder, mit einem in der Reihe später stehenden gerieben, die eine, der letztere die andere Elektrizitätsart erhält:

„Felle, poliertes Glas, Wolle, Seide, Papier, mattes Glas, Harze (Bernstein, Siegellack, Kautschuk), Metalle.“

Man nennt die erstgenannte (Glas-) positive Elektrizität, die letztgenannte (Harz-) negative Elektrizität: Gleichnamig elektrisierte Körper stossen einander ab, ungleichnamig elektrisierte ziehen einander an.

Die alte Anschauung vom elektrischen Fluidum nahm entweder zwei entgegengesetzte Arten eines solchen, oder aber ein Mehr oder Weniger (+ und —) eines und desselben Fluidums an, dessen Normalquantum den unelektrischen Zustand charakterisieren sollte. Die erstere Annahme kehrt auch wieder in der modernen „Elektronen“-Lehre, welche

aber natürlich, ebenso wie die Faraday-Maxwellsche nur mehr eine Umschreibung des jeweiligen Tatsachenbestandes darstellt; das innerste Wesen der Elektrizität entzieht sich unserer Erkenntnis.

2. Leiter und Nichtleiter.

Metalle werden durch Reibung nur dann elektrisch, wenn sie mit einem Griff z. B. aus Glas oder Hartgummi gehalten werden, sonst geben sie die Elektrizität alsbald an den menschlichen Körper und mithin an die Erde ab: sie gehören zu den Leitern der Elektrizität (Konduktoren), auf welchen sich die Elektrizität äusserst schnell ausbreitet, im Gegensatz zu den Nichtleitern (Isolatoren), bei denen eine elektrisierte Stelle die Elektrizität festhält: Zu den ersteren gehören die Erde, die Metalle, Kohle, der menschliche und tierische Körper, viele wässrige Lösungen, zu den letzteren Glas, Harze, trockene Luft, Alkohol, Petroleum, Fette u. a. Doch gibt es viele Zwischenstufen, wie die Gewebe, Papier, feuchte Luft usw. „Halbleiter.“

3. Elektrizitätsmenge.

Bei jedem Vorgang der Elektrizitätserzeugung, nicht nur der Reibung, wird stets ein gleiches Quantum beider Elektrizitätsarten erzeugt, dessen algebraische Summe gleich Null ist: Gesetz der Erhaltung der Elektrizität, als Spezialfall des Gesetzes von der Erhaltung der Energie. Das jeweilige Quantum hat man zu messen gesucht.

Coulomb fand nämlich mittelst seiner „Drehwage“, dass, analog wie bei der Gravitation (Newton) oder Anziehung der Massen überhaupt, resp. Weltkörper, so auch bei der elektrischen Anziehung und Abstossung die Kraft, mit der diese erfolgt, den Elektrizitätsmengen (Ladungsgrössen) der beiden elektrisch geladenen Körper direkt und dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional ist:

$$F = \text{const.} \frac{e \cdot e_1}{r^2}.$$

Die Konstante wird gleich Eins, sobald man die Einheit der Elektrizitätsmenge einsetzt für e , wenn F gleich der Einheit der Kraft (Dyne, in absolutem Mass, siehe unten bei den Messmethoden): „elektrostatische Einheit der Elektrizitätsmenge“, denn wir betrachten hier zunächst die Elektrizität als ruhend, den elektrischen Zustand als gleichbleibend („Elektrostatik“) und gelangen erst später zu der Besprechung der „bewegten“ Elektrizität („Elektrodynamik“).

4. Elektrisches Feld. Kraftlinien und Niveauflächen. Potential.

Der (streng genommen unbegrenzte) Raum, auf welchen sich die Wirkung eines elektrisierten Körpers erstreckt, heisst ein elektrisches Feld (Kraftfeld); nehmen wir letzteren zunächst als Punkt, so geht die

Richtung der Kraft nach allen Seiten geradlinig von diesem aus: die Strahlen sind die Kraftlinien: die Grösse der Kraft, welche an einem Punkt des Feldes auf die Elektrizitätsmenge Eins (mit dieser geladenen Körper) in anziehendem oder abstossendem Sinne ausgeübt wird, heisst die Feldstärke, ihre Einheit ist gleich

$\frac{\text{Dyne}}{\text{Elektrost. Einh. d. Elektrizitätsmenge}}$. Beschreibt man um $e = 1$ eine Kugelfläche mit dem Radius $r = 1$ (cm), so gehen durch diese „ $4\pi e$ Kraftlinien“.

In einem beliebigen Felde ist eine gewisse Arbeit ($p \times h$) nötig, um gegen die anziehende oder abstossende Kraft Elektrizität (elektrisch geladene Körper) hinein- resp. herauszuschaffen: für jeden Punkt des Feldes nennt man diese Arbeit, insofern sie nötig ist, $e = 1$ hinein- oder herauszuschaffen, auch die Spannkraft (potentielle Energie), welche der Elektrizitätsmenge 1 daselbst innewohnt, sein „elektrisches Potential $V = \frac{\text{Arbeit}}{\text{Elektrizitätsmenge}}$ “. Alle Punkte in einem elektrischen

Felde, wo diese Funktion gleich gross ist, befinden sich auf einer als äquipotentielle bezeichneten Fläche, kurz „Niveaufläche“. Kraftlinien und Niveauflächen kreuzen sich stets im rechten Winkel:

Figur 1 zeigt dieses Verhältnis für das Feld eines elektrisierten Punktes.

Eine solche Niveaufläche stellt auch die Oberfläche jedes elektrisierten Leiters (siehe oben) dar, und zwar nehmen von hier die Kraftlinien ihren Ausgang; im Innern des Leiters ist kein elektrisches Feld: „die elektrische Ladung, welche einem Leiter, sei er massiv, oder geschlossen, oder hohl, erteilt wird, befindet sich nur auf seiner Oberfläche“: Versuch mit einem Drahtkäfig, mit dessen Innerem und Äusseren je ein (Goldblatt-) „Elektroskop“ leitend verbunden ist: bei der Elektrisierung spreizen sich nur die Goldblättchen des letzteren: Figur 2.

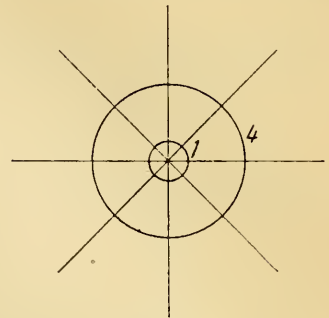


Fig. 1.
Kraftlinien und Niveauflächen.

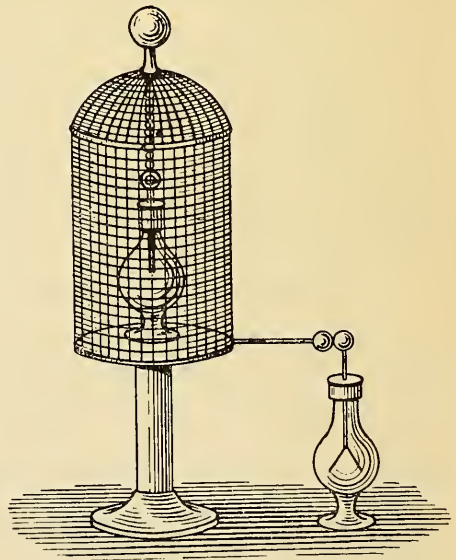


Fig. 2.

Das Potential der Erde, welche auch als ein annähernd kugelförmiger Leiter angesehen werden kann, wird gleich Null gesetzt, bei den Messungen (siehe später) der Unterschied des Potentials gegenüber demjenigen der Erde — positiv +, oder negativ —, — gemessen, und dadurch der elektrische Zustand eines Körpers in ähnlicher Weise charakterisiert, wie der Wärmezustand (die „Temperatur“) durch den Vergleich mit dem (hier willkürlich gewählten) Nullpunkt.

5. Kapazität.

Das Potential einer geladenen Kugel ist auf ihrer ganzen Oberfläche überall gleich und die Ladung lässt sich in ihrem Mittelpunkte vereinigt denken; in der Entfernung r von ihrem Mittelpunkt ist allgemein das Potential $V = \frac{e}{r}$, d. h. für eine bestimmte Elektrizitätsmenge oder Ladung umgekehrt proportional ihrem Radius: je grösser ihr Radius, eine um so grössere Elektrizitätsmenge muss man ihr zuführen, um sie auf gleiches Potential zu bringen; ihre Ladungsfähigkeit oder (elektrostatische) Kapazität ist $C = \frac{\text{Elektrizitätsmenge}}{\text{Potential}} = r$, dem Radius.

Auf der Oberfläche andersgeformter Leiter ist im allgemeinen die Elektrizität ungleichmässig verteilt, ihre Flächendichte $\left(\frac{\text{Elektrizitätsmenge}}{\text{Flächeneinheit}}\right) \sigma$ ist um so grösser, je kleiner an der betreffenden Stelle der Krümmungsradius, je grösser die Krümmung, unendlich gross an scharfen Kanten und Spitzen, so dass hier die Elektrizität die Tendenz hat, in die (stets mehr weniger feuchte) Luft, resp. im Vakuum in den „Äther“ auszuströmen: „Spitzenwirkung“; es muss darum die Anbringung von Kanten und Spitzen vermieden werden, insbesondere an Apparaten, welche der Herstellung hoher elektrischer Potentiale dienen. Die eine, länger bekannte Klasse derselben basiert auf der sog.

6. Influenz (elektrostatische Induktion der Engländer):

Bringt man in die Nähe (in das Feld) eines elektrischen Körpers (positiv geladene Metallkugel, Figur 3) einen noch unelektrischen Leiter, z. B. an den Enden abgerundeten Metallzylinder, so „verteilen“ sich die im unelektrischen Zustand gebunden gedachten Elektrizitäten derart, dass das dem influenzierenden Körper zugekehrte Ende ungleichnamige („Influenz-elektrizität der ersten Art“), das abgekehrte Ende gleichnamige („Influenz-elektrizität der zweiten Art“) Ladung erhält, in der Mitte liegt eine „Indifferenzzone“, zu erkennen an aufgesetzten Goldblättchen oder elektrischen Pendeln, Fig. 3a. Entfernt man den influenzierenden Körper, so vereinigen sich die Influenz-elektrizitäten wieder und der Leiter erscheint unelektrisch: anders wird dies jedoch, wenn man, während der influenzierende Körper noch in der Nähe ist, den Leiter vorübergehend zur Erde ableitet, Fig. 3b: es ver-

schwindet dann nur die Influenzelektrizität zweiter Art und er bleibt mit derjenigen erster Art geladen, welche Ladung auch bleibt und sich auf seiner Oberfläche gleich verteilt, wenn der influenzierende Körper entfernt worden ist: Fig. 3c.

7. Dielektrikum; Elektrisiermaschinen.

So lange ersterer noch in der Nähe, findet offenbar gegenseitige Anziehung der Ladung des ersteren und der „Influenzelektrizität erster Art“ statt: dieselbe wird verhindert, wenn dazwischen eine zur Erde abgeleitete Metallplatte steht („Schirmwirkung“), nicht aber durch jedes andere zuvor unelektrische Zwischenmedium als es die Luft ist: Die Influenz findet statt durch alle Nichtleiter hindurch, z. B. Glas, Hartgummi, Öl usw., weshalb diese auch Dielektrika (Faraday) heißen.

Durch Influenz elektrisiert wird z. B. der „Deckel“ des wohlbekannten Elektrophors, durch dessen Berührung man die Influenzelektrizität zweiter Art (–) ableitet, und welcher nach dem Abheben dann geladen mit derjenigen erster Art (+) — der gepeitschte „Harzkuchen“ war negativ! — sich erweist. Man kann aber auch die eine Art Influenzelektrizität, hier die erste durch Spitzen auf den influenzierenden Körper ausströmen lassen, wo er die ursprüngliche Ladung neutralisiert: so bei dem „Konduktor“ mit „Saugring“ der gewöhnlichen (Winterschen) Reibungselektrisiermaschine, bei welcher inzwischen durch Weiterdrehung der Scheibe eine neue geriebene Stelle zur influenzierenden Wirkung gebracht wird usw. — so auch bei den „Konduktoren“ mit Saugkämmen der Influenzelektrisiermaschinen, bei denen nach einmaliger „Erregung“ durch geringe Reibung die mechanische Arbeit dauernd in Elektrizität umgewandelt wird (Töpler und Holtz, Fig. 4; „selbsterregende“ von Voss, Carré und Whimshurst, siehe den achten Abschnitt „Elektrotherapie“ unter „Franklinisation“).

8. Kondensatoren.

Nehmen wir auch den influenzierenden Körper als Leiter an, was von vornherein nicht Bedingung war, so werden die Flächendichten auf den Oberflächen beider Leiter, wenn wir die Influenzelektrizität

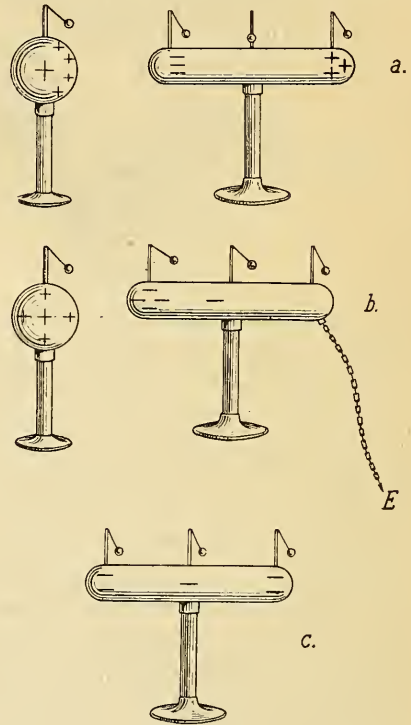


Fig. 3.
Influenz.

zweiter Art abgeleitet haben, auf den einander zugekehrten, durch das „Dielektrikum“ getrennten Flächen besonders gross

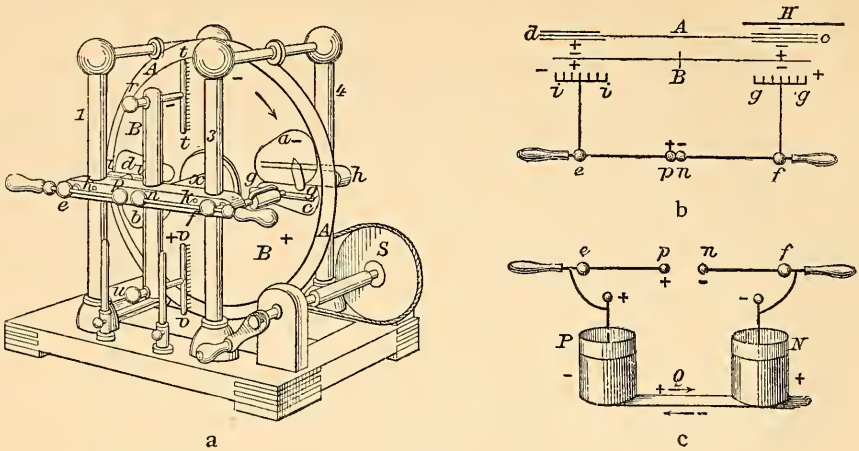


Fig. 4.

Influenz-Elektriermaschine, ursprüngliches Modell von Töpler-Holtz. Wirkungsweise nach Lommel: „Von zwei gefirnisssten Glasscheiben kann die kleinere B durch Kurbel und Schnurlauf S um ihre isolierende wagrechte Achse x gedreht werden, während die grössere A sehr nahe hinter der drehbaren feststeht und an zwei gegenüberliegenden Stellen mit Ausschnitten a und b versehen ist, an deren Rändern die Belege c und d angebracht sind, von welchen Papierspitzen in die freien Räume der Ausschnitte hineinragen. Vor der drehbaren Scheibe befinden sich, den Papierbelegen gegenüber die zwei Messingkämme gg und ii, welche mit den verschiebbaren Konduktoren e f n p in Verbindung stehen, deren Handgriffe aus isolierendem Material bestehen. Hält man hinter c eine geriebene Hartgummiplatte h und dreht die Scheibe B in der Pfeilrichtung, während die Konduktorknöpfe n p sich berühren, so wird Beleg c negativ elektrisch durch Influenz und Spitzenwirkung; entfernt man nun die Platte und dreht weiter, so wirkt die negative Elektrizität des Beleges c durch Influenz sowohl auf die sich drehende Glasscheibe als auch auf den Messingkamm gg, indem sie in beiden positive Elektrizität anzieht, die negative zurückleitet, dabei wird jene auf ihrer inneren Seite positiv, auf der äusseren zunächst negativ; da aber in dem die Elektrizität leitenden Messing die Influenz viel vollkommener erfolgt, als in dem nichtleitenden Glas, so reicht die aus den Spitzen des Kammes gegen die Scheibe strömende positive Elektrizität nicht nur hin, die negative Elektrizität an der Aussenseite auszugleichen, sondern auch noch, letztere mit positiver Elektrizität zu laden; der Teil der Scheibe, welcher an dem Kamm gg vorüber gegangen ist (in der Fig. 4a ihre untere Hälfte), ist daher auf beiden Seiten positiv elektrisch; diese positive Elektrizität, an der in den Ausschnitt b hineinragenden Papierspitze angekommen, zieht aus ihr negative Elektrizität heraus, hebt sich gegen diese auf und lässt den Papierbeleg d positiv elektrisch zurück; der Erfolg ist derselbe, als wäre die positive Elektrizität der unteren Scheibenhälfte in diesen Beleg übergegangen. Indem nun die positive Elektrizität des Beleges d auf die drehbare Scheibe und den Messingkamm ii ganz wie vorhin Influenz übt und negative Elektrizität aus den Spitzen auf die Scheibe zu strömen nötigt, wird deren obere Hälfte mit negativer Elektrizität geladen, welche, an dem Ausschnitt a angelangt, in den Papierbeleg c übergeht und dessen negative Ladung und influierende Wirkung vermehrt. Da sich dieses Spiel bei jeder Umdrehung wiederholt, so wird die Ladung beider Belege rasch bis zu einer gewissen Grenze gesteigert: ist sie genügend gross geworden, was sich durch ein zischendes Geräusch verrät, so geht zwischen den auseinandergertickten Kugeln ein prasselnder Funkenstrom über, welcher andauert, so lange man die Scheibe dreht. Stärkere einzelne Funken erhält man statt dessen, wenn jede Elektrode mit dem Knopf einer Leidenerflasche und die äusseren Belegungen der beiden Flaschen durch einen Stanniolstreifen verbunden sind. (Fig. 4c.) Diese Einrichtung ist bei den neueren Modellen der Maschine stets von vornherein getroffen, ihre Wirkungsweise nach dem weiter unten über die Kondensatoren Gesagten und der Figur ohne weiteres verständlich.

werden durch die gegenseitige Anziehung, „Bindung“ der Elektrizitäten, da sie ja ungleichnamige sind; es haben grössere Elektrizitätsmengen

e auf jedem der beiden Leiter bei gleichem Potential V Platz, als wenn das Dielektrikum und der andere Leiter nicht vorhanden wären, ihre Kapazität $C = \frac{e}{V}$ ist erhöht, weshalb man eine solche Kombination einen Kondensator (Elektrizitätsverdichter) nennt.

Solche Kondensatoren finden vielfache technische Verwendung und können verschiedene Formen erhalten: So die der bekannten Leidener Flasche mit ihrer inneren und äusseren Belegung, Fig. 5a, der Franklin-

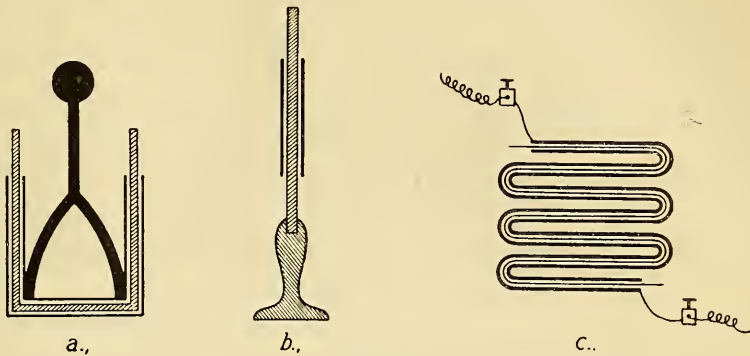


Fig. 5.

Kondensatoren.

schen Tafel, Fig. 5b, die gefalteten Papierkondensatoren u. a. der grossen Funkeninduktoren, Fig. 5c.

Die Kapazität eines Kondensators ist nun abhängig von der Oberfläche der Belege S und dem Abstände derselben d , in der Art, dass $C = \frac{S}{4\pi d}$; es können darum n gleiche Leidenerflaschen zu einer Batterie von der n -fachen Kapazität „nebeneinander geschaltet“ werden, indem man alle inneren und alle äusseren Belege miteinander verbindet, aber auch „kaskadenartig“ hintereinander, indem immer die innere Belegung der einen Flasche mit der äusseren der nächsten verbunden wird: Die Kapazität ist dann gleich $\frac{1}{n}$, die Potentialdifferenz („Spannung“) zwischen den äussersten Enden, bei gleich starker Ladung aber die n -fache als bei der Einzelflasche.

9. Dielektrizitätskonstante.

Die Kapazität eines Kondensators ist aber endlich noch abhängig von der Art des zwischen den Belegungen befindlichen „Dielektrikums“; obige Formel würde für das Vakuum, event. Luft als Dielektrikum gelten und ist für jedes andere Dielektrikum zu multiplizieren mit einer Konstanten K , welche eben angibt, wie vielmal grösser die Kapazität eines Kondensators ceteris paribus wird, wenn statt des Vakuums oder der Luft

der betreffende Stoff zwischengeschaltet wird; diese Zahl heisst die Dielektrizitätskonstante des betreffenden Materials. Also $C = K \cdot \frac{S}{4\pi d}$; und

entsprechend muss K resp. $\frac{1}{K}$ in allen bisher angegebenen Formeln eingesetzt werden, wenn das Feld nicht von Luft, sondern einem anderen Dielektrikum erfüllt ist. Faraday nahm an, dass in jedem Körper unter dem Einfluss eines elektrischen Feldes eine elektrische Verschiebung stattfindet, im Sinne einer „dielektrischen Polarisation“ der „Ätherteilchen“, welche also derartig gerichtet werden, dass sie nach der einen Seite hin positiv, nach der anderen negativ geladen sind, so dass also zwischen ihnen entgegengesetzte Elektrizitäten zusammenstossen, nur an den äusseren Oberflächen „freie“ vorhanden sind; dieser Verschiebung leisten die Moleküle der Leiter keinen, diejenigen der Dielektrika einen bestimmten, von der Art des Dielektrikums abhängigen „dielektrischen“ Widerstand, dessen Ausdruck die Dielektrizitätskonstante ist.

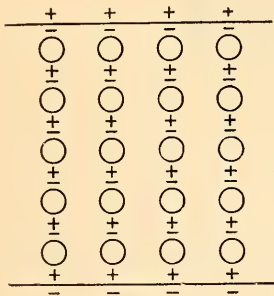


Fig. 6.

Haben wir nun ein Dielektrikum zwischen zwei Metallplatten, deren eine elektrisiert wird, so dass jenes in ein elektrisches Feld zu liegen kommt, so können wir uns den oben geschilderten Vorgang nach der Skizze Fig. 6 vorstellen: Denken wir uns der oberen Kondensatorplatte + Elektrizität zugeführt, so wird die unmittelbar an ihr anliegende — E. der Ätherteilchen auf sie anziehend wirken,

ebenso aber auch die unmittelbar der unteren Kondensatorplatte anliegende + E der Ätherteilchen an der ihr zugewendeten Seite der (mit der Erde verbundenen) unteren Kondensatorplatte beim Laden eine genau gleiche — Elektrizitätsmenge anziehen und festhalten: insofern überall Dielektrikum („Äther“) vorhanden ist, tritt an die Stelle der elektrischen (und magnetischen) „Fernwirkung“ (s. Coulombs Gesetz) nach Faradays Vorstellung überall die Wirkung von Teilchen zu Teilchen, in deren Richtung Zugkräfte, senkrecht zu denen Druckkräfte (Abstossung) tätig sind.

10. Feldstärke; Induktionslinien.

Wir haben nun gesehen, dass die Richtung dieser Kräfte durch die „Kraftlinien“ graphisch dargestellt werden kann, und dass nicht nur ihre Richtung, sondern auch die von der Ladung des Leiters abhängige Stärke des von ihr durchzogenen Feldes durch ihre Zahl verdeutlicht wird, die man entsprechend der an jedem Punkte des Leiters angesammelten Elektrizitätsmenge, also der sog. „Dichte“ der Elektrizität gewählt hat (vgl. oben über die Spitzenwirkung): nun sehen wir aber, dass die — scheinbare — Fernwirkung — durch das umgebende Medium hindurch stets von

dessen Dielektrizitätskonstante abhängig ist: Man nimmt nun für jeden Fall an, dass dieses das Vakuum sei und erhält statt der Kraftlinienzahl $4\pi e$ für ein bestimmtes Dielektrikum das Produkt von Feldstärke \mathcal{E} , Flächen-grösse S (Dichte s. o.) senkrecht zur „Feldrichtung“ und Dielektrizitätskonstante K

$$K \cdot \mathcal{E} \cdot S = N,$$

gleich der Zahl einer Sorte von Linien, die durch jedes Dielektrikum durch die Fläche S gehen, also stets $= 4\pi e$ sind: Man hat diese wohl als Induktionslinien bezeichnet: Nur wo dieselben frei enden, ist freie Elektrizität vorhanden, nicht aber an den Kondensatorplatten, an der Grenze zwischen zwei Dielektrizis, wo der Lichtbrechung entsprechende „Brechung“ der Induktionslinien stattfindet, usw.

Diese Beziehungen zwischen Elektrizität und Licht, die von Maxwell theoretisch weiter verfolgt wurden, dehnen sich weiter aus („elektromagnetische Lichttheorie“) auf den Magnetismus, dessen Grunderscheinungen hier ganz kurz erledigt werden müssen, um sein Verhältnis zur bewegten Elektrizität verstehen zu können.

II. Magnetspole; Polstärke; magnetisches Moment.

Natürliche Magnete (Magneteisenstein) und künstliche desgleichen, — mit natürlichen Magneten bestrichene Stahlstäbe — ziehen bekanntlich mit ihren Enden Eisenteilchen an, ihre Mitte ist „unmagnetisch“. Sie wirken ferner mit ihren Enden in verschiedener Weise aufeinander, so dass sie mit ihren „ungleichnamigen“ Polen — „Nordpol und Südpol“, s. unten — einander anziehen, während ihre gleichnamigen Pole (Nord- und Nord- oder Süd- und Südpol) einander abstossen: Auch die weichen Eisenteile werden dadurch angezogen, dass sie am zugekehrten Ende einen ungleichnamigen, am abgekehrten Ende einen gleichnamigen Pol durch „magnetische Influenz“ erhalten: Weiches Eisen verliert indessen den Magnetismus fast vollständig (bis auf einen kleinen, als „remanenter Magnetismus“ bezeichneten Rest), wenn es von dem Magneten entfernt wird, während Stahl ihn behält, zum „permanenten Magneten“ wird (Koërsitivkraft). Man nimmt zur Erklärung dieser Erscheinungen an, dass jedes, auch unmagnetische Eisen- oder Stahlstück aus lauter an und für sich magnetischen, mit beiden Polen versehenen Teilchen — „Molekularmagneten“ — bestehe, welche von vornherein derart regellos durcheinander gelagert sind, dass in jeder Richtung ebensoviele Nordpole wie Südpole liegen und deshalb ihre Wirkungen sich gegenseitig aufheben: Bei der Magnetisierung werden sie so gerichtet, dass sie zu geringerem, grösserem Teil oder sämtlich („Magnetisierung zur Sättigung“) mit ihrem Nordpole nur nach der einen, mit ihrem Südpole nur nach der entgegengesetzten Richtung hinsehen; die Moleküle des Stahles stellen dieser

Drehung einen grossen Widerstand entgegen, behalten sie dafür dann auch bei.

Auch für die magnetische Anziehung und Abstossung gilt das Coulombsche Gesetz: Die Kraft derselben ist abhängig von der Magnetisierungsstärke — Grösse der aufeinander wirkenden Magnetismen m — und umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung:

$$K = \text{const.} \frac{m \cdot m'}{r^2}$$

Konst. wird gleich 1, wenn man als Einheit der Magnetismenmenge — „Polstärke“ — diejenige nimmt, welche eine ihr gleiche im Abstand = 1 (cm) mit der Einheit der Kraft (Dyne) abstösst: „Polstärke“, weil bei längeren Stäben die Magnetismenmenge an den Enden — „Polen“ — konzentriert gedacht werden können: Bei kürzeren Magneten liegen die „virtuellen Mittelpunkte“ der magnetischen Kraftkomponenten mehr einwärts, werden aber auch als Pole bezeichnet: Das Produkt aus der Polstärke m und dem Abstand der Pole voneinander heisst das „magnetische Moment“ des Magneten: $\mathfrak{M} = m \cdot l$; bezieht man dasselbe auf die Volumeinheit, so stellt es die „Magnetisierungsintensität“ dar: $\mathfrak{J} = \frac{\mathfrak{M}}{v}$.

12. Erdmagnetismus.

Nicht zu verwechseln hiermit sind die Grössen, welche sich auf den Erdmagnetismus beziehen; die Erde ist bekanntlich ein Magnet, wie erkannt werden kann, wenn man einen Magneten in seinem Schwerpunkt frei aufhängt: Er zeigt dann mit seinem „Nordpol“ (der eigentlich Südpol heissen sollte!!) nach dem magnetischen Nordpol der Erde, welcher mit dem geographischen nicht zusammenfällt; der an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche verschieden spitze Winkel zwischen dem geographischen und dem magnetischen „Meridian“ heisst die „Deklination“, d ; der Magnet weist aber auch (bei uns auf der nördlichen Halbkugel mit dem Nordpol) nach der Erde hin; der spitze Winkel, welchen diese Richtung mit der Horizontalebene bildet, heisst die „Inklination“, i .

Der in der Horizontalebene wirksame Anteil der Gesamtintensität des Erdmagnetismus T heisst die „Horizontalintensität“ des Erdmagnetismus: $H = T \times \cos i$; sie ist leicht nach hier nicht zu besprechenden Methoden zu bestimmen und man kann mit ihr vergleichen die Stücke jedes beliebigen „magnetischen Feldes“, das natürlich auch in absolutem Mass (s. später) messbar ist, — somit auch H selbst in absolutem Mass ausrechnen.

13. Magnetisches Feld; Permeabilität.

Der Raum, in welchem magnetische Kraft wirksam ist, heisst nämlich, dem elektrischen Felde entsprechend, „magnetisches Feld“; die Feldstärke \mathfrak{H} ist gleich \mathfrak{r} , wenn der Einheitspol die Einheit der Arbeitskraft (eine Dyne) ausübt; ist in einem Punkte des Feldes die Einheit der Arbeit (ein Erg) erforderlich, um den Einheitspol ins Unendliche hinaus, oder von dort her zu schaffen, so herrscht hier das „magnetische Potential“ $\mathfrak{D} = \mathfrak{r}$.

Die magnetische Feldstärke ist überall gleich der Abnahme des magnetischen Potentials pro Längeneinheit, wie in der Elektrostatik.

Aber es gibt für den Magnetismus keine Leiter im Sinne der Elektrizitätsleiter: Auf jedem Körper ist stets die Summe aller Magnetismen gleich Null! Indessen ist auch hier die Grösse der zwischen zwei Magnetpolen wirkenden Kraft von dem dazwischen befindlichen Medium beeinflusst, ähnlich wie bei den Dielektrics: Die Formel für die Kraft nach dem Coulombschen Gesetze $\frac{m \cdot m_1}{r^2}$ muss noch mit einer Konstanten multipliziert werden, entsprechend dem reziproken Wert der Dielektrizitätskonstante $\frac{1}{K}$, so hier mit demjenigen $\frac{1}{\mu}$ der „Magnetisierungskonstante“ besser „Permeabilität“ μ , welche für die nicht selbst zu „Magnet“ zu machenden Körper nur wenig grösser als für das Vakuum ist, und zwar entweder < 1 : sog. diamagnetische Stoffe (Wismut) oder aber etwa > 1 : sog. paramagnetische Stoffe. Sehr hoch und veränderlich mit der Intensität des magnetischen Feldes E wird die Permeabilität μ bei den „magnetisierbaren“ oder „ferromagnetischen“ Stoffen: Eisen, Kobalt, Nickel.

14. Magnetische Induktionslinien; Beziehung zu elektrischen Stromlinien. EMK.

Da es nur an der Oberfläche geladene Leiter des Magnetismus, wie bei der Elektrizität, nicht gibt, und da ein magnetisches Feld immer nur zwischen zwei Polen bestehen kann, so sind die die Richtung und Grösse der Kraft angehenden Kraftlinien — analog den elektrischen —, an deren Stelle durch die analoge Übertragung und Rechnung der Begriff der „Induktionslinien“ tritt, stets in sich geschlossene Kurven: sie lassen sich durch die bekannten Feilspanfiguren auf über die Magnetpole gebrachtem Papier (Fig. 7) leicht darstellen und lassen dann den immerhin oft weiten Bogen erkennen, den sie bei stabförmigen oder offenen hufeisenförmigen Magneten machen müssen, die sog. magnetische „Streuung“: Dieselbe wird verringert, wenn einem Hufeisenmagneten der „Anker“ angelegt wird, völlig aufgehoben an einem (nach aussen hin unwirksamen) „Ringmagneten“.

Die magnetischen Induktionslinien werden, analog wie die elektrischen, an den Grenzen zweier Medien gebrochen, sehr stark bei dem Übergang von Luft in Eisen, so dass ein eiserner Hohlkörper sein Inneres vor mag-

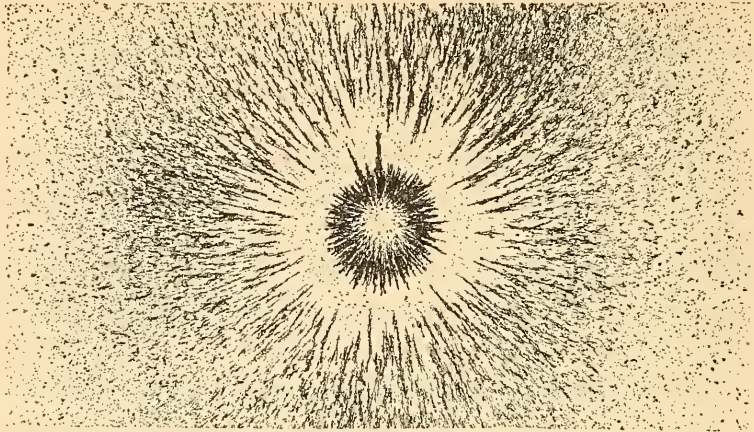


Fig. 7a.

netischen Störungen schützt: Faradays Käfig, sog. Panzergalvanometer, s. später; – magnetische Schirmwirkung.

Den in sich geschlossenen magnetischen Induktionslinien analog sind, und wie schon angedeutet, in inniger Beziehung

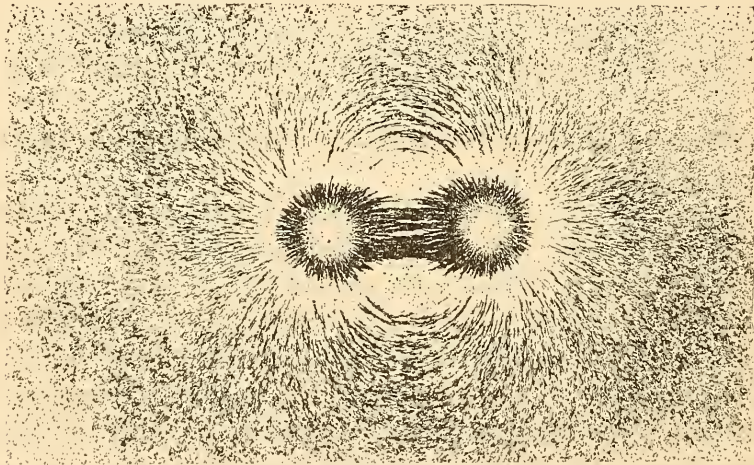


Fig. 7b.

zu ihnen stehen die in sich geschlossenen Wege bewegter Elektrizität, wie sie beim Ausgleich von Potentialdifferenzen (s. oben) auftreten, als „elektrische Stromkreise“.

Bei beständiger Drehung einer Influenzmaschine z. B. gleicht sich die Potentialdifferenz zwischen den Konduktoren aus, indem ständig + Elektrizität in der einen und — Elektrizität in der anderen hinüberströmt, in gleicher Menge, deren Wert in der Zeiteinheit als elektrische Stromstärke bezeichnet wird:

$$i = \frac{e}{t},$$

ebenso wie bei einem Flüssigkeitsstrom (Wasser in einer Wasserleitung) als Stromstärke die in der Zeiteinheit durch jeden Leitungsquerschnitt fließende (überall gleiche) Flüssigkeitsmenge bezeichnet wird. Wie zur Unterhaltung eines Flüssigkeitsstromes eine mechanische, so ist zur Erhaltung des elektrischen Stromes eine elektrische „Triebkraft“ nötig, die elektromotorische Kraft EMK, deren Grösse ausgedrückt ist, wie bei einem Wasserreservoir (Niveaugefäss) durch den Niveauunterschied zwischen Wasserspiegel und Ausflussöffnung h , so hier durch die Potentialdifferenz, welche die Quelle der EMK erzeugt: $V_1 - V_2$, oder wenn V_2 durch Verbindung mit der Erde = 0 gemacht wird: V .

15. Galvanismus.

Quellen relativ intensiver elektrischer Ströme lassen sich aus Kombinationen metallischer und flüssiger Leiter (Leiter erster und zweiter Klasse, s. oben) herstellen, wie bekannt seit der Beobachtung Galvanis, dass mit kupfernen Haken an ein eisernes Geländer gehängte frisch enthäutete Froschschenkel bei Berührung des Geländers zuckten: „Galvanismus“, galvanische Ströme. [Galvani hielt die Erscheinung für veranlasst durch tierische Elektrizitätsproduktion: Volta widerlegte diese Ansicht und begründete die elektrochemische (hydroelektrische) Elektrizitätsproduktion durch theoretische und experimentelle Arbeit — Voltasche Säule —, man sollte also lieber von voltaischen Strömen reden. Galvani entdeckte freilich später die erste wirklich auf tierischer Elektrizitätsproduktion beruhende Erscheinung, die sog. Zuckung ohne Metalle (s. später)].

Volta fand s. Z., dass zwei Platten von verschiedenem Metall, zuerst miteinander in Berührung gebracht und dann am (mit Kondensator versehenen) Elektroskop untersucht, sich elektrisch zeigen, und dass alle Leiter erster Klasse sich zu einer Reihe ordnen lassen, derart, dass jeder zuerst stehende in Berührung mit dem nächsten positiv elektrisch, der letztere negativ elektrisch wird: „Spannungsreihe“, analog der oben erwähnten „Reibungsreihe“ —: Zink, Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Kohle, Platin. Man ist jetzt geneigt, die so entstehenden, recht geringfügigen und nicht sehr konstanten Potentialunterschiede auf zwischen den Metallen vorhandene Elektrolytspuren zurückzuführen; Tatsache bleibt, dass in einem aus mehreren aneinanderstossenden Leitern erster Klasse

gebildeten Ringe oder Kreise (Fig. 8a) die Summe der Potentialdifferenzen stets gleich Null ist, es also nicht zum Strömen von Elektrizität kommen kann. Dies wird sofort grundsätzlich anders, sobald zwischen zwei Metalle ein „Leiter zweiter Klasse“ — wässrige Lösung, welche die Elektrizität leitet, „Elektrolyt“, siehe den zweiten Abschnitt, gebracht wird: es tritt schon zwischen einem Metall und einem Elektrolyt ein unvergleichlich grösserer Potentialunterschied auf, als zwischen zwei Metallen; zwischen zwei verschiedenen Metallen und demselben Elektrolyten sind die Potentialdifferenzen verschieden gross, und zwar ist dieser Unterschied im allgemeinen um so grösser, je weiter die Metalle als solche in der Voltaschen Spannungsreihe auseinander stehen: so ist bei der Kombination „Zink—verdünnte Schwefelsäure—Kupfer“ das Zink viel stärker positiv gegen die Säure als das Kupfer: wird nun Zink und

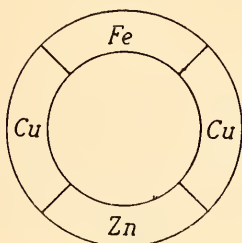


Fig. 8a.

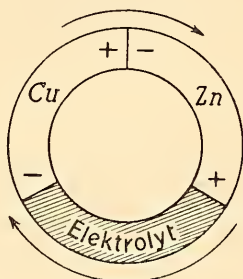


Fig. 8b.

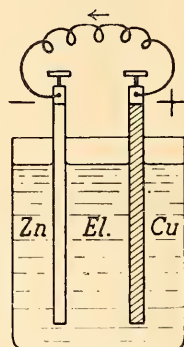


Fig. 8c.

Kupfer ausserhalb der Säure zur Berührung gebracht (Fig. 8b), event. unter Einschaltung eines anderen Metalls, was ja nichts an der Summe der Potentialunterschiede ändert, so „kreist“ ein elektrischer Strom in dieser „geschlossenen galvanischen Kette“, derart, dass die positive Elektrizität durch die Flüssigkeit geht von dem in der Spannungsreihe vorn stehenden (positiven) Metall, hier Zink, zu dem weiter hinten stehenden (negativen) Metall, hier Kupfer: in Bezug auf die Flüssigkeit heisst darum das Zink der Eintrittsweg oder die Anode („Aufweg“), das Kupfer der Austrittsweg oder die Kathode („Abweg“) des „Stromes“; in bezug auf den „äusseren Schliessungsbogen“ dagegen ist das Kupfer der „positive Pol“, das Zink der „negative“, indem die positive Elektrizität hier vom Kupfer zum Zink gewissermassen zurückkehrt (hochwichtig für das Verständnis der gesamten technisch- und bioelektrischen Terminologie!!).

Die beschriebene Kombination heisst ein galvanisches Element und wird nicht mehr, wie bei der klassischen Voltaschen Säule als „Plattenpaar“ mit zwischengelegter säuregetränkter Filzscheibe, sondern

als Gefäß mit der Flüssigkeit ausgeführt, in welchem die platten-, prismen- oder zylinderförmig gestalteten Elektroden stehen, mit Klemmschrauben versehen, zur Verbindung untereinander, sowie zum Stromkreise: Fig. 8c. Die „Energiequelle“ des Stromes in dieser galvanischen oder „hydroelektrischen“ Kette ist stets ein chemischer Prozess, welcher mit der Auflösung, resp. Überführung des einen Metalls in ein Salz (z. B. Zink in Zinksulfat) verbunden ist, von deren Zustandekommen im dritten Abschnitt die Rede sein wird. Galvanische Elemente sind darum relativ sehr teure Stromquellen, deren Anwendung immer mehr beschränkt wird. Bei einer einfachen Kombination, wie der beschriebenen Zink, verdünnte Schwefelsäure, Kupfer, führt ferner der stromliefernde Prozess zu einer derartigen Veränderung der Oberfläche der Elektroden, dass hier

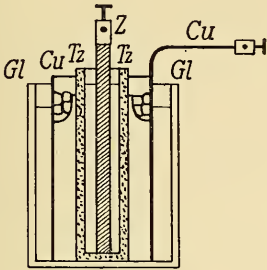


Fig. 9.
Daniell-Element.

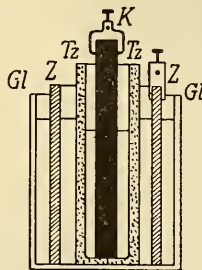


Fig. 10.
Bunsen-Element.

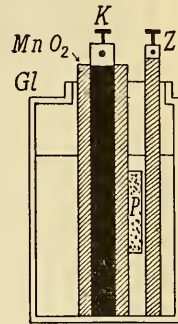


Fig. 11.
Leclanché-Element.

schnell nach der Schliessung die elektromotorische Kraft durch eine entgegengesetzte vermindert wird: Schwächung des Stromes durch „Polarisation“; solche Elemente sind „nicht konstant“ und wurden verdrängt durch solche, in welchen entweder der Erzeuger der entgegengesetzten EMK, meist Wasserstoff, durch ein Oxydationsmittel („Depolarisation“) zerstört oder aber eine sog. unpolarisierbare Kombination verwendet ist (s. später): „konstante Elemente“, von denen, wenn sie wirklich als konstant bezeichnet werden sollen, auch verlangt wird, dass sie im nicht geschlossenen Zustand keinerlei chemischen Verbrauch und somit keinerlei Änderung ihrer EMK auf lange (theoretisch unendliche) Zeit hinaus aufweisen.

16. Konstante Elemente.

Von den letzteren sei hier nur das Daniellsche Element erwähnt (Fig. 9), wo das Zink (Z) in der verdünnten Schwefelsäure steht, getrennt durch eine Tonzelle (Tz) von dem Kupfer (Cu), welches in einer Lösung von Kupfersulfat steht, die durch Kristalle dieses Salzes konzentriert erhalten wird (es gibt viele Modifikationen: Meidinger, Siemens,

Callaud u. a.). Gleichfalls mit zwei Flüssigkeiten ausgerüstet ist das Bunsensche Element, bei welchem wieder das Zink auf der einen Seite der Tonzelle in verdünnter Schwefelsäure, auf der anderen Kohle (K) (Retortenkohle) in Salpetersäure als Depolarisator steht: beim Groveschen Element statt dessen Platin, sonst alles wie beim Bunsenschen Element. Bei letzterem kann auch die Salpetersäure durch Chromsäurelösung (ca. 2 Teile Schwefelsäure und 1 Teil Kalium- oder Natriumbichromat auf 10 Teile Wasser) ersetzt werden; in dieser Lösung können auch beide Platten zusammenstehen, so dass man wieder ein Element mit nur einer

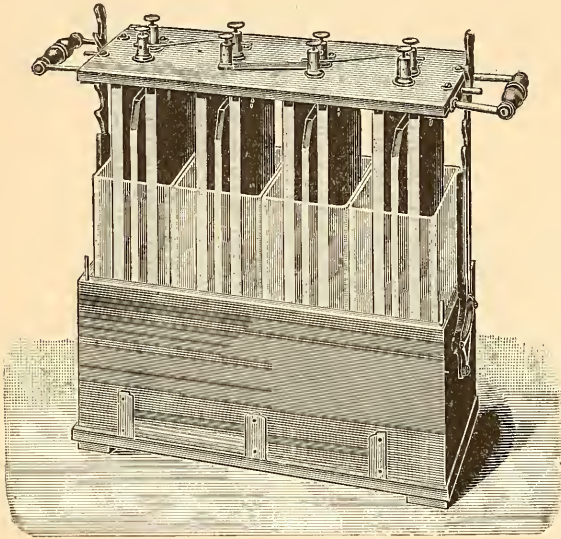


Fig. 12.

Flüssigkeit hat: so sind die jetzt freilich immer mehr zurücktretenden „Tauchbatterien“ (Fig. 12), Flaschenelemente (Grenet) eingerichtet, auch das ursprünglich mit Tonzelle ausgerüstete Leclanché-Element hat jetzt meistens eine gemeinschaftliche Flüssigkeit, nämlich konzentrierte Salmiaklösung (Chlorammonium), in welche eintauchen ein Zinkstab Z, sowie ein Kohlenprisma K, an welches aus Braunstein (Magnesiumsuperoxyd) gepresste Platten als

Depolarisator angedrückt werden. Modifikationen des Leclanché-Elements sind endlich die zahlreichen Arten von Trockenelementen (Gassner, Hällesen, Galvanophor usw.), bei welchen die Salzlösung von einer Fabrikgeheimnis bildenden porösen oder gallertigen Masse aufgesogen ist.

Auf andere Konstruktionen (Edison-Lalande-Element, Cupron-Elemente) kann hier nicht eingegangen werden; wegen der Konstanten der verschiedenen Elemente, siehe später, ebenso wegen der „sekundären Elemente“ oder Akkumulatoren, denen gegenüber die soeben besprochenen als „primäre“ bezeichnet werden.

Wie hier chemische Energie in elektrische umgewandelt wird, so kann auch das Umgekehrte stattfinden, wir reden von den demnächst zu betrachtenden chemischen Wirkungen des Stromes, deren Grösse zur Messung der Stromstärke usw. dienen kann; indessen sind die in der Lehre von der bewegten Elektrizität (Elektrodynamik) gebräuchlichen Einheiten von den schon mehrfach angedeuteten Beziehungen zum Magne-

tismus oder magnetischen Wirkungen des Stromes hergeleitet, auf welche jetzt eingegangen werden muss.

17. Elektromagnetismus.

Ein Strom wirkt bewegend — „ablenkend“ auf einen frei aufgehängten Magneten ein, im Sinne der Ampèreschen „Schwimmregel“: denkt man sich einen Menschen mit dem Strom schwimmend, das Gesicht nach dem Magneten gerichtet, so wird der Nordpol nach der linken, der Südpol nach der rechten Hand hin abgelenkt: zeichnet man den Stromkreis im Sinne des Uhrzeigers auf das Papier (Fig. 13), so ist der Südpol vor dessen Ebene heraus-, der Nordpol hinter dieselbe zurücktretend zu denken: es herrscht dabei das Bestreben, den Magneten zur Stromkreisebene senkrecht zu stellen, resp. um eine geradlinige Stromstrecke im Kreise herumzudrehen — Drehung eines Magneten um einen Strom; „Elektromotor“. — Um ein stromdurchflossenes Drahtstück (Stromelement) liegen die magnetischen Induktionslinien im Kreise herum, wie sich an Eisenfeilspänen direkt zeigen lässt.

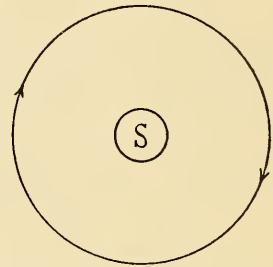


Fig. 13.

18. Stromstärke.

Jedes Stromelement von der Länge l erzeugt in der Entfernung r ein Magnetfeld, dessen Stärke H nach den Berechnungen von Biot und Savart ist gleich

$$\frac{i \cdot l \cdot \sin \text{ des Winkels zwischen } r \text{ und } l}{r^2}$$

multipliziert mit einer Konstanten C .

Diese Konstante wird, wenn man für i die Elektrizitätsmenge setzt in elektrostatischen Einheiten (s. oben S. 2), die per Sekunde durch jeden Leiterquerschnitt fließt, wie sich leicht zeigen lässt, gleich der Lichtgeschwindigkeit 30000 km oder 3×10^{10} cm in der Sekunde; setzt man sie statt dessen gleich eins, so erhält man als Einheit für i oder die Stärke eines Stromes, welcher die Einheit der magnetischen Wirkung hat, einen 3×10^{10} mal so grossen Wert wie jenes elektrostatische i .

Diese elektromagnetische Einheit der Stromstärke ist für praktische Zwecke etwas zu gross, man hat daher als internationale Masseneinheit derselben ein Zehntel davon festgesetzt und nennt diese Grösse ein **Ampère**. Für biologische und medizinische Zwecke ist auch diese noch zu gross und ihr tausendster Teil vorzuziehen, das Milliampère (evnt. noch der millionste Teil, das Mikroampère).

Die Elektrizitätsmenge, welche bei einem Strom von 1 Amp. in der Sekunde durch den Querschnitt fliesst (siehe oben $i = \frac{e}{t}$) entspricht $\frac{1}{10}$ der elektromagnetischen Einheit der Elektrizitätsmenge und heisst 1 Coulomb ($\frac{1}{1000} =$ Millicoulomb; $\frac{1}{1000000} =$ Mikrocoulomb), sie ist demnach 3×10^9 mal so gross wie die elektrostatische Einheit der Elektrizitätsmenge.

19. Ohmsches Gesetz.

Bei der Bewegung von Flüssigkeiten in Röhrensystemen ist bekanntlich die Stromstärke, d. h. die in der Zeiteinheit durch jeden Querschnitt fließende Flüssigkeitsmenge abhängig erstens von der Triebkraft = Niveauunterschied im Reservoir, zweitens von den Widerständen in der Leitung; sie ist um so grösser, je kürzer und weiter, um so kleiner, je enger und länger das Ausflussrohr ist.

Genau dasselbe gilt auch für den elektrischen Strom; seine Stärke ist proportional der Triebkraft = EMK = Potentialdifferenz zwischen den Polen der „Stromquelle“ $V_1 - V_2$; V_2 gleich null gesetzt also proportional V ; und umgekehrt proportional der Summe der im Stromkreis vorhandenen Widerstände, die wir kurz gleich w setzen wollen:

$$i = \frac{V}{w}, \text{ oder } V = i \times w.$$

Dies ist das berühmte, für den Anfänger nach wie vor das α und ω der gesamten Elektrizitätslehre und ihrer Anwendungen bildende Ohmsche Gesetz.

20. Widerstand. Spannung.

Der Widerstand von Metallen und „Elektrolyten“ ist unabhängig von der Stromstärke, hängt vielmehr nur von der Natur und Form des Leiters ab; für Drähte ist er direkt proportional der Länge, umgekehrt proportional dem Querschnitt, und abhängig von einer als „spezifischer Leitungswiderstand“ bezeichneten Konstanten W : $w = W \cdot \frac{l}{q}$; gewöhnlich bezeichnet man den reziproken

Wert von $W = \frac{l}{Wq} = \kappa$ als spezifisches Leistungsvermögen, dasselbe ist abhängig von der Temperatur nach der Formel $w_t = w_0 \cdot (1 + \alpha t + \beta t^2)$; man nimmt meist dasjenige des Quecksilbers als Einheit; am besten leiten Silber und Kupfer, die Elektrolyte viel tausendmal schlechter als die Metalle (s. nächsten Abschnitt).

Welches sind nun die Masseinheiten für die elektromotorische Kraft und für den Widerstand?

Fliesst durch ein Drahtstück ein Strom i , welcher erzeugt ist durch eine gewisse Potentialdifferenz V an den Enden desselben, so wird durch ihn pro Sekunde die Elektrizitätsmenge $i \times t$ von der Stelle des höheren nach der Stelle des um V niedrigeren Potentials gebracht. Die dabei vom Strom geleistete Arbeit ist offenbar:

$$A = i \cdot V \cdot t$$

und offenbar wird zwischen den Enden eines Drahtstücks die elektromagnetische Einheit der Potentialdifferenz bestehen, wenn ein in ihm fließender Strom von der elektromagnetischen Einheit der Stromstärke (s. oben) die Einheit der Arbeit (Erg) in der Zeiteinheit leistet. Diese Einheit wäre offenbar 3×10^{10} mal kleiner als die elektrostatische Einheit des Potentials; man hat statt dessen deren 300sten Teil, oder das 10^8 fache der „absoluten“ elektromagnetischen V -Einheit genommen, welche der ungefähren Spannung zwischen den Polen eines (Daniell-) Elementes entspricht und bezeichnet sie als „Volt“.

Als elektromagnetische Einheit des Widerstandes ergäbe sich derjenige eines Stromkreises, in welchem die elektromagnetische Einheit der EMK die elektromagnetische Einheit der Stromstärke erzeugt: man nimmt statt dessen als 10^9 mal so grosse technische Einheit des Widerstandes denjenigen eines Stromkreises, in welchem die EMK von 1 Volt die Stromstärke von 1 Ampère erzeugt und nennt sie ein „Ohm“ (Ω): so benannt schreibt sich das Ohmsche Gesetz:

$$\text{Ampère} = \frac{\text{Volt}}{\text{Ohm}} \text{ oder } \text{Volt} = \text{Ohm} \times \text{Ampère}$$

1 Ohm entspricht dem Widerstande einer Quecksilbersäule von 1063 mm Länge und 1 qmm Querschnitt (1,063 mal so gross wie die früher gebrauchten, in älteren elektromedizinischen Werken noch vielfach zu lesenden Siemenschen Einheiten von 1 m Quecksilbersäule mit 1 qmm Querschnitt).

21. Stromverzweigung. Kurzschluss; Nebenschluss; Schaltung von Elementen.

Für den Fall verzweigter Stromleitungen ergibt sich die Stromverteilung aus den sog. Kirchhoffschen Sätzen, deren erster der Ausdruck dafür ist, dass sich die Elektrizität, ebenso wie die inkompressiblen echten Flüssigkeiten (Piezometer!) nirgends stauen kann; an jedem Verzweigungspunkte muss genau so viel ab- wie zufließen; die algebraische Summe der in bezug auf die Richtungen (nach der Verzweigungsstelle hin = +, von der Verzweigungsstelle weg = -) mit entgegengesetzten Vorzeichen gedachten Intensitäten muss an jeder Verzweigungsstelle gleich Null sein: $\sum i = 0$; zweitens lässt sich leicht aus dem Ohmschen Gesetze ableiten, dass in jedem geschlossenen Leiter, welcher aus beliebig vielen Teilen bestehen kann, die Summe der elektromotorischen Kräfte

ΣV oder E gleich der Summe der Produkte aus Stromstärke und Widerstand der einzelnen Teile ist:

$$V_1 + V_2 + V_3 \dots = i_1 w_1 + i_2 w_2 + i_3 w_3 \dots \text{ oder kurz } E = \Sigma i \cdot w.$$

Hieraus ergibt sich für die sog. Parallelschaltung mehrerer Leiter (Fig. 14) 1, 2, 3, 4, wo zwischen den Verzweigungspunkten die Potentialdifferenz V herrscht, dass die Intensitäten $i_1 : i_2 : i_3 : i_4$ sich umgekehrt verhalten, wie die Widerstände, also wie $\frac{I}{w_1} : \frac{I}{w_2} : \frac{I}{w_3} : \frac{I}{w_4}$; wo der Widerstand gross, ist wenig Strom, wo der Widerstand klein, ist viel Strom, resp. Anteil vom Gesamtstrom. Hiervon wird, wie wir sehen

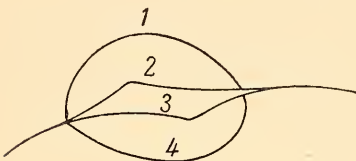


Fig. 14.

werden, in der Schwach- oder Starkstromtechnik, Elektrophysiologie und Elektromedizin ausgiebigster Gebrauch gemacht, um von einer Stromquelle eine Abzweigung von genau bestimmter regulierbarer Stromstärke (ev. Klemmspannung, s. unten) herzustellen, sowie auch einen Strom beliebig

durch ein Objekt gehen zu lassen oder nicht, letzteres ohne den Strom selbst zu unterbrechen, und zwar durch Herstellung oder Aufhebung eines gutleitenden Nebenweges:

So beim „Vorreibeschlüssel“ du Bois-Reymonds, bei welchem der Strom von der Quelle zum Bestimmungsort und zurückgeführt

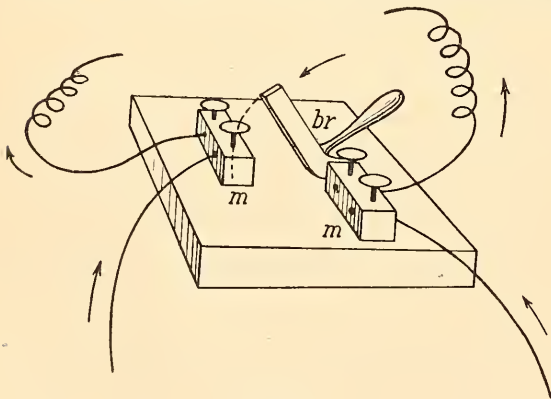


Fig. 15.

wird durch Vermittlung der beiden mit je 2 Klemmen versehenen Metallblöcke m (Fig. 15), zwischen denen die gutleitende federnde Brücke br durch Hereindrehung vermittelt des isolierenden Handgriffes ein- und auszuschalten ist: ist sie hochgedreht, so geht der ganze Strom durch den Bestimmungsort, ist sie niedergedrückt, nichts oder fast gar nichts, und alles durch die Brücke. Analog wirken auch die Stöpsel in den Stöpselrheostaten (s. später) u. a. m.

Eine solche, vor dem Bestimmungsort querleitende Verbindung wird wohl als „Kurzschluss“ bezeichnet, besonders wenn sie unabsichtlich hergestellt wird, und kann in solchem Falle durch die Verminderung des Gesamtwiderstandes, Vermehrung von i , damit der Arbeit und Jouleschen Wärme (s. u.) besonders in der Starkstromtechnik zu Bränden führen. Allgemein wird jede „parallel“ zum Hauptwege verlaufende Strombahn als „Nebenschluss“, englisch *shunt*, bezeichnet.

Jeder einfache Stromkreis kann ferner aus mehreren „hintereinandergeschalteten“ Leitern bestehen oder bestehend gedacht werden, in

deren jedem ein Anteil der Gesamt-EMK (des Gesamtpotentialgefälles, entsprechend dem Druckgefälle in einem Flüssigkeitsrohr) wirksam ist, welcher, da i konstant (Inkompressibilität!) umgekehrt proportional dem Widerstande des Leiterstücks sein muss: $i = \frac{V_1}{w_1} = \frac{V_2}{w_2} = \frac{V_3}{w_3} \dots$;
 $V_1 + V_2 + V_3 = E$; $w_1 + w_2 + w_3 \dots = w$; $i = \frac{E}{w}$.

Nun sind stets mindestens zwei hintereinandergeschaltete Leiterteile zu unterscheiden, die Stromquelle selbst, deren Widerstand als „innerer“

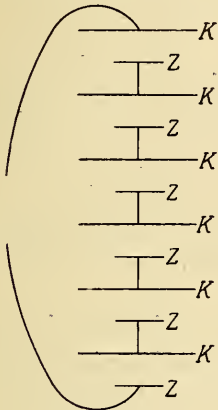


Fig. 16a.

6 Elemente hintereinander.

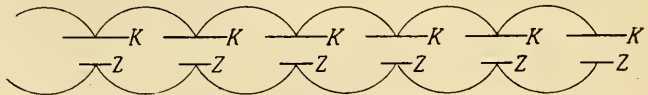


Fig. 16b.

6 Elemente nebeneinander.

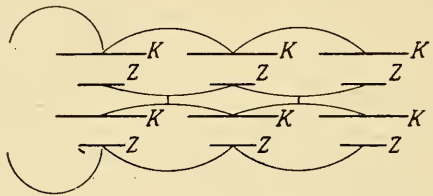


Fig. 16c.

Je 3 Elemente nebeneinander als zwei grosspl. Elemente zur Batterie = 3 Batterien von je 2 Elementen nebeneinander.

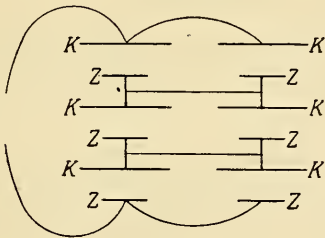


Fig. 16d.

Je 2 Elemente nebeneinander als drei grosspl. Elemente zur Batterie = 3 Batterien von je 3 Elementen nebeneinander.

Widerstand, und der „Schliessungsbogen“, dessen Widerstand als „äusserer“ Widerstand unterschieden werden. Von der Gesamt-EMK wird sonach stets nur ein Teil der Arbeit (s. unten) im äusseren Stromkreise zu gute kommen; der grösste Teil, wenn der äussere Widerstand relativ gross ist, aber immerhin nur ein Teil; man bezeichnet seinen Wert als Potentialdifferenz zwischen den Ableitungsstellen der Batterien, Dynamomaschinen usw., als „Klemmspannung“.

Ist der innere Widerstand eines Elementes im Verhältnis zu dem äusseren Widerstand gering, so kann offenbar i vergrössert werden durch „Hintereinanderschalten“ von n Elementen zur „Batterie“, denn dann ist $i = \frac{n \cdot V}{w_a + n \cdot w_i}$, was eine n -fachung bedeutet gegen ein Ele-

ment, wenn $n \cdot w_i$ gegen w_a vernachlässigt werden kann; ist aber umgekehrt w_a gering im Verhältnis zu w_i , so wird man letzteren zu verkleinern suchen durch Nebeneinanderschaltung (Parallelschaltung) von n Elementen (n -plattiges, „grossplattiges Element“), man hat dann $i = \frac{V}{w_a + \frac{w_i}{n}}$, also

wieder n -fachung, wenn w_a zu vernachlässigen. In den zwischenliegenden Fällen lässt sich leicht berechnen, wie n Elemente am vorteilhaftesten zu gruppieren sind, indem man je $\frac{n}{m}$ Elemente nebeneinander und diese m grossplattigen Elemente hintereinanderschaltet. Fig. 16 zeigt sämtliche Möglichkeiten für 6 Elemente. Der eine Grenzfall findet Anwendung für „physiologische“ Zwecke, der andere für „thermische“ — Kautik, Beleuchtung; s. später. Von einem Leiterteil mit gleichmässigem Potentialgefälle — ausgespanntem gleichdicken Draht — lässt sich in eine Zweigleitung ein aliquoter Teil der Gesamtspannung zwischen dessen Enden abnehmen mit Hilfe eines verschiebbaren Kontakts (Figur 17).

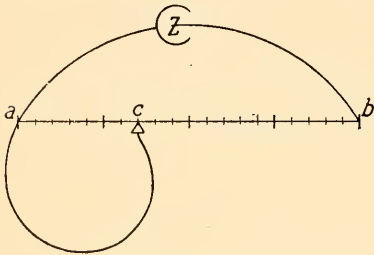


Fig. 17.

○ Z Stromquelle, a b fester, c verschiebbarer Kontakt. a b Draht mit Teilung; im vorliegenden Fall herrscht in der Zweigleitung 35% der Gesamtspannung zwischen a und b.

Hiervon wird Gebrauch gemacht bei den stromkompensierenden Vorrichtungen in der Elektrophysiologie und dem „Voltregulator“ der Anschlussapparate für elektromedizinische Zwecke.

22. Arbeit des Stromes. Joulesche Wärme.

Die Arbeitsleistung eines Stromes in einer gewissen Zeit wird ausgedrückt durch das Produkt $E M K$, Stromstärke und Zeit:

$$A = i \cdot V \cdot t$$

Die Arbeit, welche der Strom von der Stärke eines Ampère in der Sekunde in einem Leiter verrichtet, zwischen dessen Enden die Spannung = 1 Volt, heisst ein Voltampère oder **Watt** = 10^7 Erg in der Sekunde. 735 Watt = 1 Pferdekraft (PS oder HP).

Die Starkstromindustrie (Beleuchtung, Kraftübertragung) verkauft die elektrische Arbeit nach $1000 \times \text{Volt} \times \text{Ampère} \times \text{Stunde}$ oder „Kilowattstunden“ (à 10–60 Pfennig, je nach Umständen).

Diese Arbeit erscheint als Erwärmung des Leiters; die in der Zeit t erzeugte Wärmemenge (in Wärmeeinheiten oder Kalorien) ist proportional dieser Zeit und dem Quadrate der Stromstärke:

$$W = \text{const.} \times i^2 \times t:$$

Joules Gesetz; Joulesche Wärme.

$$(A = V \times i \times t; \quad A = \text{const.} \times i^2 \times t;$$

$$V = \text{const.} \cdot i; \quad \text{const.} = W;$$

Zusammenhang zwischen Ohms und Joules Gesetz!

Die Umwandlung elektrischer in thermische Energie wird technisch benutzt für die elektrische Beleuchtung — Bogenlicht, Kohlenfadenglühllicht, Nernstlicht, Osmium- und Tantalglühlampe — und die elektrische Heizung, chirurgisch für die Galvanokaustik. Die „chemischen Wirkungen des Stromes“, welche auch zu seiner Intensitätsmessung dienen können und ihre technische Verwendung in der Galvanoplastik und Galvanostegie (Überziehung mit Metallen auf elektrischem Wege) finden, werden im Lichte der neueren Theorien im dritten Hauptabschnitt getrennt besprochen werden.

23. Solenoid und Elektromagnet.

Wir haben jetzt fortzufahren bei der Besprechung der Wechselbeziehungen zwischen Elektrizität und Magnetismus, welche wir nur soweit gebracht haben, als es zum Verständnis der elektromagnetischen Masseinheiten nötig war.

Wir sehen, dass ein stromdurchflossener Leiter ringförmig um sich herum magnetische Induktionslinien setzt: Ist der Leiter ringförmig, so wirkt er in einiger Entfernung etwa wie ein in der Mitte gelegener magnetischer „Punkt“ oder Elementarmagnet; wickelt man ihn zu mehreren Windungen in einer Spirale, so wirkt das so erhaltene „Solenoid“ genau wie ein Stabmagnet; ein innerhalb desselben befindlicher Stab aus weichem Eisen wird auf die Dauer des Stromdurchganges zum Magneten („Elektromagnet“ — „temporärer“ Magnetismus im Gegensatz zum „permanenten“ des natürlichen und Stahlmagnets), ein außerhalb befindlicher Eisenstab wird hineingezogen.

Wie der Strom einen frei beweglichen Magneten „richtet“, so auch umgekehrt der Magnet einen Strom, — eine beweglich aufgestellte oder aufgehängte Spule wird von einem feststehenden Magneten, der Ampèreschen Regel entsprechend, abgelenkt. Ein drehbarer stromdurchflossener Leiter rotiert um einen festen Magneten (Elektromotor).

Endlich werden auch zwei stromdurchflossene Leiter analog auf einander einwirken: Ist der eine beweglich, so wird er sich zu dem anderen parallel zu stellen suchen (Versuche mit dem „Ampèreschen Gestell“). Kurz gesagt, jeder Strom erzeugt ein ruhendes Magnetfeld mit allen seinen bewegenden und magnetisierenden Wirkungen; nicht aber erzeugt ein ruhendes Magnetfeld in einem eingebrachten stromlosen Leiter einen neuen Strom, was hier für jeden, der eine Ahnung vom Gesetz der Erhaltung der Energie hat, sich von selbst

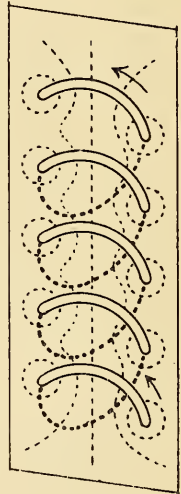


Fig. 18.
Induktionslinien
eines Solenoides
in einer in seiner
Achse gelegenen
Ebene.

versteht: Hierzu muss das Magnetfeld bewegt oder verändert werden: Die dazu aufgewendete Energie wird in elektrische Energie umgewandelt und man nennt die so erhaltenen Ströme

24. Induktionsströme.

„Sie entstehen immer dann in einem Leiter, wenn die Anzahl magnetischer Induktionslinien, welche die von ihm eingeschlossene Fläche schneiden, geändert wird.“

Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn in einem benachbarten parallelen Leiter ein Strom verstärkt oder geschwächt wird, (dessen magnetisches Feld somit auch); die höchste Wirkung erwarten wir, wenn er geöffnet oder geschlossen wird (das Feld entsteht resp. vergeht): Wir nennen den Kreis dieses Leiters den primären (induzierenden), denjenigen des anderen, den wir zunächst als in sich geschlossen ansehen müssen, den sekundären (induzierten) Kreis: Es entsteht nun bei jeder Schliessung resp. Verstärkung des primären Stromes in dem sekundären Kreise ein dem primären entgegengesetzter, bei jeder Öffnung resp. Verstärkung ein dem primären gleichgerichteter, kurzdauernder „Induktionsstrom“ (Induktionsschlag). Natürlich wirkt auch der letztere gewissermassen zurück auf den Primärkreis, der entgegengerichtete Schliessungsinduktionsstrom gewissermassen die Schliessung, der gleichgerichtete Öffnungsinduktionsstrom die Öffnung „hindernd“. Ebenso erhält man, wenn man einem geschlossenen Leiter einen Magnetpol nähert, in demselben einen Induktionsstrom von solcher Richtung, dass dieser nach der Ampèreschen Regel den Pol abstossen wird, und wenn man den Magnetpol entfernt, einen Induktionsstrom von solcher Richtung, dass dieser den Pol anziehen würde (— „Magnetinduktion“ —); „durch welche Zustandsänderung auch ein Induktionsstrom erzeugt sein mag, stets ist derselbe so gerichtet, dass er die Zustandsänderung zu verhindern sucht“: Lenz'sches Gesetz, eine direkte Folgerung des Energieprinzips, nach welchem sich auch die Grösse der EMK und die Stromstärke des Induktionsstromes aus der zeitlichen Änderung der Induktionslinienzahl leicht berechnen lässt; doch soll wegen der dazu nötigen Begriffe aus der Infinitesimalrechnung hier nicht darauf eingegangen werden.

25. Selbstinduktion; Extraströme. Schlitteninduktorium.

Haben wir nur einen Leiter, so wird jede Verstärkung oder Schwächung, resp. Schliessung oder Öffnung, kurz jede Schwankung eines Stromes in demselben eine Veränderung eines magnetischen Feldes, eine Zu- oder Abnahme der den Leiter schneidenden Induktionslinien mit sich bringen, somit auch in ihm selbst Ströme nach Massgabe des Lenz'schen Gesetzes „induzieren“: Man bezeichnet diesen Vorgang

als „Selbstinduktion“: Natürlich wird er durch jede Gestaltung des Leiters begünstigt, welche ermöglicht, dass er recht oft von den Induktionsliniengeschnitten wird, so durch diejenige als Spirale oder Solenoïd (Fig. 18 zeigt den Verlauf der Induktionslinien eines Solenoïds schematisch), und man kann hier auch davon ausgehen, dass „immer die eine Windung induzierend auf die benachbarte einwirkt“. Man nennt die beim Schliessen und Öffnen eines Stromes in einer Spirale erzeugten Selbstinduktionsströme auch **Extraströme**: Der Schliessungsextrastrom ist dem Hauptstrom entgegengesetzt gerichtet, kommt voll zur Entwicklung und verhindert sein Entstehen; der Öffnungsextrastrom ist dem Hauptstrom gleichgerichtet, wird aber durch den Akt der Öffnung unterbrochen und tut sich kund durch teilweisen Ausgleich durch die Luft hindurch: „**Öffnungsfunke**“.

Vermeiden kann man die Selbstinduktion, wo sie hinderlich würde, z. B. bei Rheostaten (s. den Abschnitt: Messungen) durch „bifilare Wickelung“; der Strom fliesst nebeneinander hin und zurück, so dass in jeder Wickelung die beiden Induktionswirkungen sich der Richtung nach aufheben, — oder aber durch ganz kurze Leiter (Graphitstücke), welche kein messbar grosses magnetisches Feld erzeugen.

Die Stärke des letzteren, wie die Zahl der Induktionslinien ist für je eine Windung proportional der Stromstärke i und einer Konstanten L , die man den Selbstinduktionskoeffizienten nennt:

$$N = L \cdot i; \quad L = \frac{N}{i}$$

Diese Formel gestattet, wie oben für die Induktionsströme überhaupt erwähnt wurde, so auch die Berechnung von (Stromstärke und) EMK der Selbstinduktion. Man nimmt nun als technische Einheit der Selbstinduktion L die Erzeugung einer EMK gleich 1 Volt dann, wenn der Strom im Leiter um 1 Ampère sich ändert und nennt diese Grösse (= 10^9 absolute L -Einheiten) **1 Henry**. Die Selbstinduktion ist von Bedeutung für die Gestaltung der Induktionsströme, welche in der (um bei dem hohen Widerstand der tierischen Gewebe genügende EMK zu erzielen, aus vielen Windungen feinen Drahtes bestehenden) sekundären Rolle der gewöhnlichen Induktoren entstehen, wenn in der primären (aus wenigen Windungen dicken Drahtes bestehenden) der Strom geschlossen und geöffnet wird: Bei der Schliessung kommt, wie schon erwähnt, der entgegengesetzt gerichtete „**Extrastrom**“ zustande und verzögert das Zustandekommen des Stromes: Infolgedessen wird auch nach den Induktionsgesetzen der Induktionsstrom in der sekundären Rolle schwach sein und träge verlaufen; bei der Öffnung des primären Stromes dagegen, kann sich der „**Extrastrom**“ nicht ausgleichen, eben weil der Kreis geöffnet wird; das Verschwinden des Stromes erfolgt plötzlich, infolgedessen wird

auch der Induktionsstrom in der sekundären Rolle stark sein und sehr steil verlaufen; siehe die Skizze Fig. 19.

Wird der Strom frequent geöffnet und wieder geschlossen durch einen elektromagnetischen Unterbrecher nach dem bekannten Prinzip der elek-

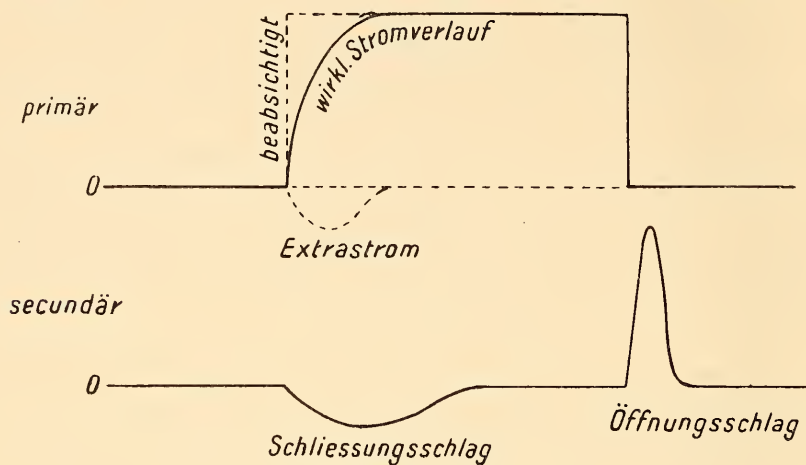


Fig. 19.

trischen Klingel (Wagnerscher oder Neefscher Hammer), so erhält man alternierende Induktionsströme oder Wechselströme, von denen die in der einen Richtung fließenden, nämlich dem primären Strome gleichgerichteten „Öffnungsschläge“ eine viel stärkere physiologische Wir-

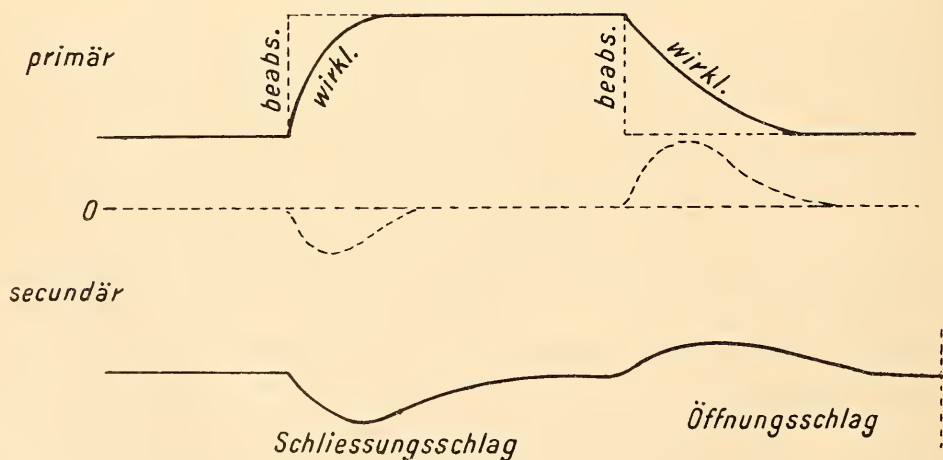
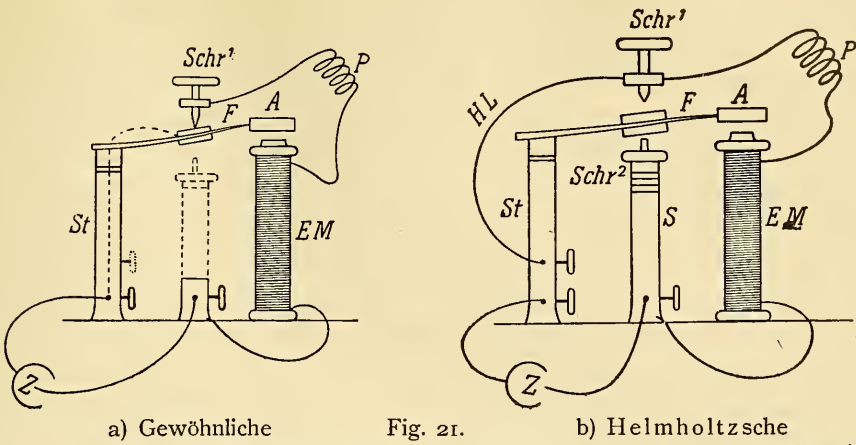


Fig. 20.

kung entfalten, als die in der anderen Richtung fließenden, nämlich dem primären Strome entgegengesetzten „Schliessungsschläge“. Dies ist das Kennzeichen der gewöhnlich von den Medizinern, nach Faraday, dem Entdecker der Induktionsgesetze, als „Faradisation“ bezeichneten Elektrisationsart. Der Unterschied kann ausgeglichen (sogar

etwas überkompensiert werden), indem man den elektromagnetischen Unterbrecher so konstruiert, dass er statt den Strom jedesmal ganz zu öffnen,



a) Gewöhnliche Anordnung des Wagnerschen Hammers am du Bois-Reymondschen Schlitteninduktorium. St Ständer, S Helmholtzsche Säule, EM Elektromagnet, P primäre Rolle, A Anker, F Feder, Schr¹ obere, Schr² untere Kontaktschraube, HL Hilfsleitung.

eine gutleitende Nebenschliessung zum Elektromagneten herstellt, durch welche sich der Öffnungsextrastrom ausgleichen kann: Es wird so die Schwächung (nicht Öffnung) des Stromes noch etwas mehr verzögert

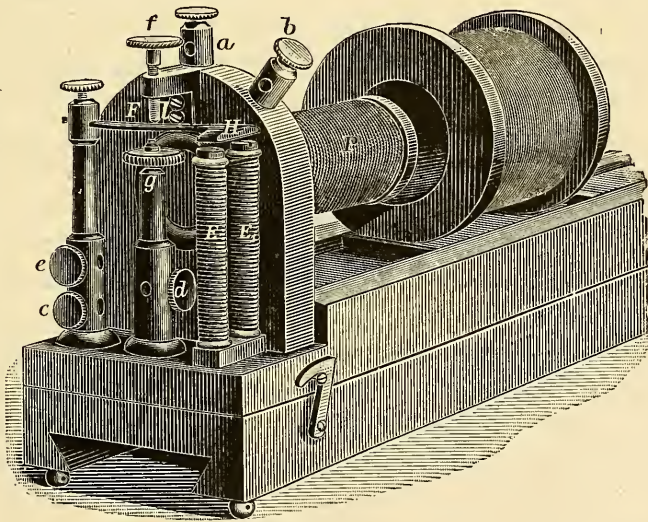


Fig. 22.

a und b Klemmen zur Benutzung der Rollen ohne den Unterbrecher oder zur Abnahme der Extrastrome. Die übrigen (von Figur 21 etwas abweichenden) Buchstabenbezeichnungen sind ohne weiteres verständlich.

werden, als die Verstärkung (nicht Schliessung), daher der Öffnungsinduktionsschlag in der sekundären Rolle eher schwächer sein wird als der Schliessungsschlag: Skizze Fig. 20 zeigt den entsprechenden Stromver-

lauf, Fig. 21b den dazu angewendeten Unterbrecher mit Säule nach Helmholtz, Fig. 22 ein damit eingerichtetes Induktorium, wie es meistens für physiologische Versuche (Abschn. IV und V) verwendet wird: Die Stärke der Induktionsschläge kann hier passend abgestuft werden, dadurch, dass die sekundäre Rolle auf einem Holzschlitten (meist von 1 m Länge) gegen die primäre verschiebbar ist: „Schlittenapparat“ von E. du Bois-Reymond.

Die grösste Stärke haben die Ströme bei übereinandergeschobenen Rollen („Rollenabstand Null“); doch ist der gewöhnlich angegebene Abstand der Rollen in cm oder mm absolut kein Mass für dieselbe; wie man diese in absolutem Mass bestimmen und danach den Schlitten eichen kann, haben Fick und Kronecker gezeigt; leider wird davon von den Medizinem viel zu wenig Gebrauch gemacht. Zweckmässig wäre auch die Einschaltung eines sehr empfindlich zu bauenden Elektrodynamometers (s. unten) in den sekundären Kreis.

26. Eisenkerne. Kupferdämpfer. Funkeninduktor. Elektromagnetische Einheit der Kapazität.

Bei den kleinen, zu therapeutischen Zwecken in den Händen der Ärzte und des Publikums befindlichen Induktionsapparaten ist der Unterbrecher sehr primitiv; die Helmholtzsche Vorrichtung fehlt stets, oft die Schlittenschiebung der sekundären Rolle, dafür ist wenigstens der Eisenkern, welcher zur Vermehrung der Induktionslinien in die Höhlung der primären Spirale eingeführt ist und bei jeder Schliessung magnetisiert und bei jeder Öffnung wieder entmagnetisiert wird, verschiebbar. Derselbe muss „unterteilt“ sein, besteht gewöhnlich aus einem Bündel geglühter, voneinander durch Firnis isolierter Eisendrähte, und zwar aus folgendem wichtigen Grunde: In jeder grösseren Metallmasse, auch Eisen, werden bei Stromschwankungen in einem benachbarten Leiter Induktionsströme im Sinne des Lenzschen Gesetzes erzeugt, d. h. so, dass sie den ersteren entgegenwirken, in unserem Falle also die Induktion in der Sekundärrolle schwächer würde: Das Faradaysche Pendel, dessen Kupferlinse man zwischen den Polen eines kräftigen Elektromagneten hindurchschwingen lässt, ebenso eine Kupferscheibe, die zwischen solchen Polen rotiert, wird aufs äusserste gehemmt und bleibt bald stehen, sobald man den Strom durch die Wickelung des Elektromagneten schickt. Hiervon wird Gebrauch gemacht bei dem kupfernen „Dämpfer“ der „Galvanometer“ (s. später), sowie endlich bei denjenigen kleinen Induktionsapparaten, bei denen nicht einmal der Eisenkern verschiebbar ist, indem er zugleich als Elektromagnet für den Unterbrecher dient; hier ist über das Bündel eine dämpfende Kupferhülse geschoben, welche an einem Handgriff sich mehr oder weniger herausziehen lässt: Hier werden die Induktionsströme um so stärker, je mehr die Hülse heraus-

gezogen wird, — bei herausziehbarem Eisenkern ist es natürlich umgekehrt.

Bei solchen kleinen Apparaten sind primäre und sekundäre Windungen auf einer Holz- oder Hartgummispule vereinigt, doch sind in dem primären Kreis meist zwei Klemmen eingeschaltet, oder es ist eine Stöpselvorrichtung angebracht, welche dazu dienen soll, den menschlichen Körper in eine Nebenleitung zu Stromquelle, Unterbrecher und Elektromagnet zu bringen, so dass die in den Primärwindungen auftretenden „Extraströme“ sich durch den Körper abgleichen können: als Induktionsströme wirken sie analog wie diejenigen der Sekundärwindungen (s. später). In eine ebensolche Nebenschliessung ist bei den grossen Ruhmkorffschen Funkeninduktoren, wie sie jetzt für die Erzeugung der Röntgenstrahlen (s. den letzten Abschnitt) so viel verwendet werden, stets ein Kondensator (der dritten Art s. oben Fig. 5c, mit Paraffinpapier als Dielektrikum) eingeschaltet, dessen Ladung den Stromschluss stark verzögert, dessen plötzliche Entladung die Stromöffnung steiler macht, so dass wesentlich nur die sehr steilen und starken Öffnungsinduktionsschläge in Betracht kommen für die sekundäre Wickelung, welche auch hier auf die gleiche Spule über der primären angebracht ist, aber in Abteilungen und mit besonderen Vorsichtsmassregeln zur Isolation angeordnet, um das Durchschlagen infolge der entstehenden sehr hohen Spannungen (ca. 1000 Volt per cm Funkenlänge) zu verhüten.

Über die hier angewandten Unterbrecher siehe kurze Angaben im letzten Abschnitt.

Die Kapazität eines Kondensators z. B. beim Ruhmkorff-Induktor, wird man zur Berechnung der EMK der Induktionsströme in der sekundären Windung natürlich kennen und in elektromagnetischem Mass ausdrücken müssen: ihre Einheit wird sein nach dem früher entwickelten gleich der elektromagnetischen Einheit der Elektrizitätsmenge, dividiert durch die elektromagnetische Einheit des Potentials, und ein Leiter, welcher durch 1 Coulomb auf das Potential 1 Volt geladen wird, hat die technische Einheit der Kapazität, die man 1 Farad nennt: ein solcher Leiter hätte solche Riesendimensionen, dass man für praktische Zwecke nur den millionsten Teil dieser Einheit nimmt, „1 Mikروفarad“.

Selbstinduktion und Kapazität sind, wie wir gleich sehen werden, von höchster Bedeutung für alle durch reine Magnetinduktion hervorgerufenen Erscheinungen, welche die Grundlage der gesamten modernen Elektrotechnik und damit auch vieler medizinischer Anwendungen der Elektrizität bilden.

27. Magnetelektrische Maschinen. Pacinottischer Ring.

Führen ein geschlossener Leiter und ein Magnetfeld gegeneinander eine Bewegung aus, derart, dass es zu zweimaligem

Schneiden der Leiterebene und der magnetischen Induktionslinien in entgegengesetztem Sinne kommt, so wird in dem Leiter (wie beim Schwächen und Verstärken eines primären Stromes) ein Induktionsstrom erst in dem einen, dann im entgegengesetzten Sinne erzeugt werden: lässt man z. B. eine Spule an einem Magnetpol vorbeidrehen oder umgekehrt, so erhält man bei jeder Drehung einen solchen „Wechselstrom“, dessen zeitlicher Verlauf zu beiden Seiten der Nulllinie gleichartig, im übrigen aber von der Konstruktion abhängig ist: So geben die klassischen Einrichtungen der Pixis-Saxtonschen und der um die Mitte des 19. Jahrhunderts für medizinische Zwecke viel gebrauchten Stöhrerschen „magnet-elektrischen Maschinen“, bei denen ein Rollenpaar vor den Pol eines Hufeisenmagnets rotiert, paarweise alternierende „Stromstösse“ nach Art der Fig. 23. Solche Stromströsse können durch eine auf der Achse des Apparates angebrachte stromwechselnde Vorrichtung, „rotierender Kom-

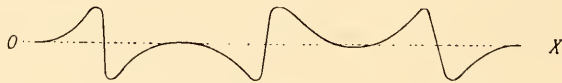


Fig. 23.

Zeitl. Verlauf der Wechselströme einer Stöhrerschen elektromagnet. Maschine.

mutator“, gleichgerichtet werden, so dass man etwas ähnliches hat, wie den etwa durch ein Zahnrad unterbrochenen Strom einer Batterie galvanischer Elemente. Einem solchen nicht unterbrochenen, also völlig gleichmässig fliessenden Strome genau entsprechendes liefern Maschinen, bei welchen man zwischen den beiden Magnetpolen, in einem möglichst homogenen Magnetfeld den Pacinottischen Ring rotieren lässt, wie das zuerst Gramme in die Technik eingeführt hat (weshalb auch der Ring fälschlich gewöhnlich Grammescher Ring genannt wird): es ist das ein in sich geschlossener Ring von mit der Rotationsachse in einer Ebene liegenden Drahtwindungen — Ringsolenoid, gewöhnlich mit eingelegtem Ring aus weichem Eisen — in deren jeder ein Strom in der einen Richtung induziert wird, solange sie in der einen Feldhälfte, in der anderen Richtung, solange sie in der anderen Feldhälfte sich bewegt: werden am äusseren Rande (technisch zweckmässiger an einem auf der Achse befindlichen, jeder so und so vielen Windung entsprechend ein isoliertes Metallstück tragenden „Kollektor“) zwei Schleiffedern („Kollektorbürsten“) angebracht (deren Verbindungslinie senkrecht zu derjenigen der Magnetpole steht), — so fliesst in einem sie verbindenden Schliessungsbogen ein bei gleichbleibender Rotationszahl völlig konstanter „Gleichstrom“.

28. Dynamomaschinen. Spannungs- und Quantitätsströme.

Bei der Konstruktion solcher Maschinen wird heute stets das von W. v. Siemens erfundene dynamoelektrische Prinzip angewendet, d. h. es werden nicht permanente (Stahl-), sondern Elektromagnete eingerichtet, deren weiche Eisenkerne stets etwas „remanenten Magnetismus“ (s. S. 9) besitzen, welcher genügt, um im „Anker“, — meist als Hefner-Alteneckscher Trommelanker, als günstigere Modifikation des Pacinottischen Ringes ausgeführt — einen zunächst schwachen Strom zu erzeugen; dieser dient dazu, die Elektromagnete stärker zu „erregen“, was wieder den Ankerstrom verstärkt usw., so dass sehr bald nach dem „Anlassen“ bei Stromschluss die Maschine sich selbst zur Erzeugung starken Gleichstroms hinaufarbeitet.

Fassen wir einen Augenblick nur den Anker, resp. die Spulen (oder den Siemenschen Doppel-T-Anker) einer magnetelektrischen Maschine in die Augen, so wird offenbar mit deren Windungszahl die EMK der induzierten Ströme wachsen, gleichzeitig aber auch der „innere Widerstand“ (s. früher) der Maschine als Stromquelle; dies wird nichts schaden, wenn der äussere Widerstand des Stromkreises sehr gross ist und ein hoch gespannter Strom von geringer Intensität gewünscht wird: es werden z. B. solche „Magnetinduktoren“ mit vielen Windungen dünnen Drahtes allgemein für die Inangsetzung der Telephonklingeln gebraucht. Kommt es aber nicht auf die „Spannung“, sondern auf die „Quantität“ an, d. h. wird Strom von relativ geringer Spannung, aber hohem i gebraucht (z. B. für galvanoplastische Zwecke), so muss der Anker mit wenigen Windungen dicken Drahtes bewickelt sein, welche nur geringen „inneren Widerstand“ geben.

Das gilt natürlich auch für die „Dynamomaschinen“: indessen wird man nur für Quantitätsströme den Elektromagneten und den Anker einfach hintereinander schalten (Fig. 24 a), und auch hier nur dann, wenn der Widerstand im äusseren Kreise und damit die Stromentnahme konstant ist; ist dies nicht der Fall und handelt es sich um Spannungsströme, so werden die dünnen und zahlreichen Windungen des Elektromagneten mit einem Regulierwiderstand „in Nebenschluss“ zum Anker gelegt (Fig. 24 b); allen Ansprüchen endlich genügt die „Verbund-schaltung“ mit zwei Wickelungen um den Elektromagneten, die eine (dicke) in Haupt-, die andere (dünne) in Nebenschluss (Fig. 24 c).

Um grosse Elektrizitätsmengen bei geringer Spannung (niedrigem Potential) zu leiten, sind Leiter von geringem Widerstande, somit grossem Querschnitt, also sehr dicke Drähte nötig; zu dünne werden durch die Joulesche Wärme so erhitzt, dass sie schmelzen resp. verbrennen. Dies ist von äusserst grosser Bedeutung, für alle diejenigen Fälle, wo viel elektrische Energie auf weite Entfernung

transportiert werden soll — nicht nur für die sog. „elektrische Kraftübertragung“, wo aus mechanischer Arbeit erzeugte Elektrizität wieder in Arbeit umgewandelt werden soll (elektrische Bahnen), sondern ganz allgemein heutzutage, wo z. B. entfernte Wasserkräfte eine Stadt mit Elektrizität versehen sollen: Hier ist es zweckmässiger, Ströme von sehr hoher Spannung und geringerer Intensität — „Quantität“ zu erzeugen, zu deren Fernleitung bei guter Isolierung dünnere Drähte genügen.

29. Hochspannung. Transformatoren.

Solche hochgespannte Ströme werden am zweckmässigsten als Wechselströme erzeugt, aus einem Grunde, der sofort einleuchten wird. Die zu ihrer Herstellung benutzten, von der Wasserkraft oder Dampfkraft getriebenen Wechselstrommaschinen haben einen Ring mit festen Elektromagneten,

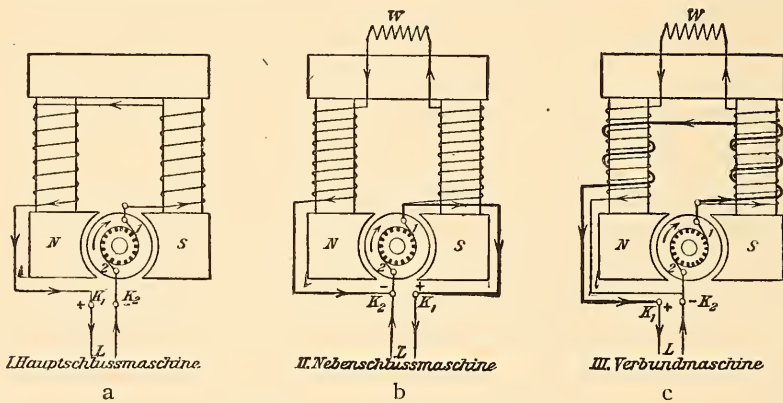


Fig. 24 (nach Lommel).

Die Buchstaben sind ohne weiteres verständlich.

welche durch eine besondere Gleichstromdynamo „erregt“ werden, und an deren Polen ein innerer mit radiär gestellten Spulen besetzter Ring vorbeirotiert: bei genügender Spulen- und Tourenzahl können so schon hohe Wechselzahlen (bis zu 400 und mehr in der Sekunde)¹⁾ erreicht werden. Schickt man diesen hochgespannten Wechselstrom durch eine Spule mit vielen dünnen Windungen, welche umgeben sind von (resp. isoliert aufgewickelt mit) wenigen Windungen dickeren Drahts, so wird in diesen letzteren ein gleichfrequenter Wechselstrom niederer Spannung aber grösserer Intensität induziert werden: es wird in dieser Vorrichtung, welche gewissermassen die Umkehrung eines „Induktoriums“ darstellt (Unterbrecher ist nicht nötig, da es sich ja schon um diskontinuierliche, nämlich die Richtung wechselnde Ströme handelt) bei richtiger Konstruktion ohne grösseren Verlust die elektrische Energie aus der Form hochgespannter in die Form niedriger gespannter, dafür stärkerer Wechselströme umgewandelt oder „herunter transformiert“; solch eine Vorrichtung ist als „Wechselstromtransfor-

¹⁾ In der Praxis gewöhnlich 50 per Sekunde!

mator“ in der modernen Elektrotechnik von grösster Bedeutung: Es kann die Umwandlung aber auch in Gleichstrom von beliebiger, gewöhnlich natürlich niedrigerer Spannung erfolgen, wenn der hochgespannte Wechselstrom einen passenden (s. unten) Motor betreibt, mit dessen Achse direkt der Anker einer Dynamomaschine verbunden ist, die nun Gleichstrom abgibt. „Wechselstrom-Gleichstrom-Transformator“. Endlich kann in analoger Weise ein Gleichstrom, dessen Spannung oder Quantität einem nicht passt, „herunter oder herauftransformiert“ werden, indem er einen Motor treibt, mit dem wieder die passende Dynamo verkuppelt ist („Gleichstromtransformator“). Natürlich wird die elektrische Arbeit $V \times i$ (Wattzahl) stets gleichbleiben, höchstens durch unvermeidlichen Verlust (Erwärmung durch Reibung, Isolationsfehler) vermindert werden; was man an Stromstärke gewinnt, verliert man an Spannung und umgekehrt.

30. Wechselstrom-Motoren. Mehrphasenströme. Mehrleitersysteme.

Motoren, die durch Wechselströme getrieben werden sollen, können zwar einfach nach dem allgemeinen Prinzip — (Drehung eines Stromes um einen Magnet oder umgekehrt — gewöhnlich ist es ein drehbarer Elektromagnet und ein fester, also eine „Dynamomaschine“; jede solche dreht sich, wenn ein Strom durch sie geleitet wird, wird also aus der „dynamoelektrischen“ zur „elektrodynamischen“) — konstruiert sein, doch muss für Erreichung der der Wechselzahl entsprechenden Tourenzahl gesorgt werden, welche er bei nicht zu gross werdender Belastung zunächst innehält: sobald bei einem solchen „Synchronmotor“ der Synchronismus gestört ist — der Motor „aus der Phase fällt“, — bleibt er stehen. Zweckmässiger richtet man es so ein, dass in dem Motor ein Magnetfeld im Kreise bewegt wird und der (sog. „Kurzschluss-“)Anker ihm folgen muss: „Drehfeld“, „Drehstrommotor“. Man erreicht das dadurch, dass man durch einen den Anker umgebenden feststehenden Spulenkranz mehrere (mindestens zwei) Wechselströme (aus Wechselstrommaschinen) schickt, deren Umkehrzeitpunkte und Maxima gegeneinander verschoben sind: bei zweien um die halbe Dauer einer Periode ($\frac{\pi}{2}$) — „Zweiphasenstrom“ —, bei dreien um $\frac{2}{3}$ derselben (120°) — „Dreiphasenstrom“ usw.

Die Kenntnis dieser technischen Dinge ist heutzutage für den Arzt und Naturforscher wertvoll, weil an den verschiedenen Orten eben diese verschiedenen Formen elektrischer Energie zu Gebote stehen: Gleichstrom, einfacher Wechselstrom, Drehstrom verschiedener Phasenzahl, — ferner mit sehr verschiedenen „Betriebsspannungen“; in den Häusern nach event. Transformation meist 110 oder 220 Volt, selten mehr.

Hier dürfen mit den Mehrphasenströmen ja nicht verwechselt werden die Mehrleitersysteme (Dreileiter-, Fünfleitersysteme usw.), welche darin bestehen, für je zwei Stromläufe eine gemeinsame Rückleitung mit dem Potential Null anzulegen: es wird so Leitungsmaterial gespart; ausserdem hat man von dem „Nulleiter“ aus die Spannung x (z. B. 110 Volt) auf der einen Seite in $+$, auf der anderen in $-$, kann also, wenn nötig, mit Auslassung des „Nulleiters“ beide kombinieren zur Spannung $2x$ (z. B. 220 Volt).

Natürlich können auch beim Drehstrom Leitungen in gleicher Weise gespart werden (was meist geschieht), indem jedesmal zwei „Phasen“ einen gemeinschaftlichen Leiter bekommen: „verketteter Mehrphasenstrom“ im Mehrleitersysteme.

31. Sinusströme. Theorie der Wechselströme.

Der zeitliche Ablauf der Wechselströme der erwähnten, in der Technik gebrauchten Maschinen ist im allgemeinen nicht der möglichst einfache, wie er durch die Kurve des zeitlichen Verlaufes einer ein-

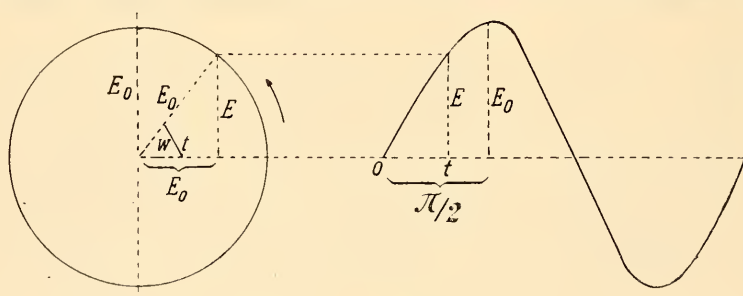


Fig. 25.

fachen pendelartigen Schwingung dargestellt wird und als „Sinusfunktion der Zeit“ bekannt ist: wohl aber ist dies der Fall, wenn man einen Magnetstab (Helmholtz) oder noch besser eine im Durchmesser magnetische stählerne Kreisscheibe (Kohlrausch) in einer rechteckigen Spule, oder umgekehrt eine Spule in einem völlig homogenen Magnetfeld (passend geformter Anker zwischen passend geformten „Polschuhen“) rotieren lässt:

ist ω die „Winkelgeschwindigkeit“ (Teil einer ganzen Kreisdrehung $\frac{2\pi}{x}$ pro Zeiteinheit, hier Sekunde) dieser Drehung, E_0 das Maximum der induzierten elektromotorischen Kraft, dargestellt als Radius eines Kreises, so ist in jedem Augenblick die EMK E gleich der Projektion dieses Radius auf die Vertikale = dem Sinus des jeweiligen Winkels gegen die Nulllinie ωt : $E = E_0 \cdot \sin \omega t$ (Figur 25). Leitet man von dem Pacinottischen Ringe (resp. seinem „Kollektor“), während er zwischen den Polen eines permanenten oder Elektromagneten rotiert, durch Schleiffedern ab, deren Verbindungslinie mit derjenigen der Magnetpole zusammenfällt (vgl. oben!), so erhält man auch das gleiche (d’Arsonval).

Solche „Sinusströme“ werden neuerdings therapeutisch benutzt („sinusoidale Faradisation“); ausserdem wird dieser einfachste Verlauf allen theoretisch so wichtigen weiteren Betrachtungen über Wechselströme, elektrische Schwingungen und Resonanzerscheinungen zugrunde gelegt.

1. Nur wenn der Stromkreis eines (sinusoiden) Wechselstromes lediglich völlig induktionsfreie Widerstände und keine Kapazität

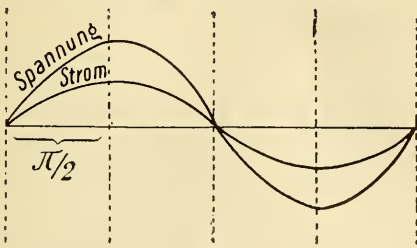


Fig. 26.

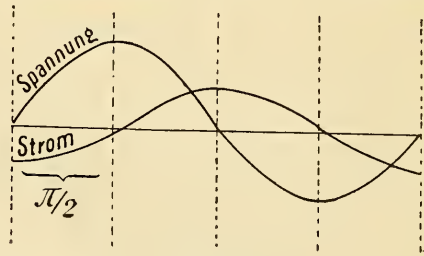


Fig. 27.

enthält, wird die Stromstärke in synchronischer (zeitlich gleichlaufender) (Sinus-) Kurve mit der EMK verlaufen (Fig. 26), also auch $i = \frac{E_0}{w} \sin \omega t$ (Ohmsches Gesetz!) $= i_0 \sin \omega t$ sein.

2. Hat der Stromkreis Selbstinduktion, aber nur geringen Widerstand, so dass man diesen vernachlässigen kann, so veranlasst die Gegen-EMK der Selbstinduktion eine Verspätung des Maximums der Stromintensität, welche eine einfache Rechnung zu einer Viertelperiode $= \frac{\pi}{2}$ ergibt (Fig. 27), und eine Schwächung desselben, gerade als ob ein Widerstand da wäre, indem die Rechnung ergibt $i_0 = \frac{E_0}{L\omega}$, d. h. dieser anscheinende Widerstand ist proportional dem Selbstinduktionskoeffizienten und der „Winkelgeschwindigkeit“ oder „Wechselzahl“, deren Produkt $L \times \omega$ als „Induktanz“ bezeichnet wird.

3. Ist im Stromkreis keine Selbstinduktion, noch nennenswerter Widerstand, aber eine Kapazität, z. B. ein Kondensator, so wird deren Bedeutung bewirken, dass das Maximum der Stromstärke demjenigen der EMK vorausläuft,

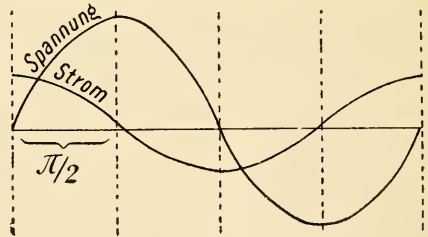


Fig. 28.

und zwar, wie die Rechnung ergibt, um eine Viertelperiode $= \frac{\pi}{2}$ (Figur 28), mit einer Schwächung wie durch einen Widerstand, indem die Rechnung ergibt, dass $i_0 = e_0 C \omega$, der scheinbare Widerstand, also gleich dem reziproken Wert des Produktes aus Kapazität und Wechselzahl $\frac{1}{C\omega}$.

4. Ist Widerstand w und Selbstinduktion L hintereinander im Kreise, so ergibt sich Nachhinken des Stromes hinter der Spannung um einen leicht zu berechnenden Winkel φ und ein scheinbarer Gesamtwiderstand $\sqrt{w^2 + \omega^2 L^2}$, welcher als „Impedanz“ bezeichnet wird; umgekehrt:

5. bei Widerstand und Kapazität hintereinander im Kreise ergibt sich Voreilen des Stromes vor der Spannung um den zu berechnenden Winkel φ und der scheinbare Gesamtwiderstand $\sqrt{w^2 + \frac{I}{\omega^2 C^2}}$.

Zwischenbemerkung: Der zeitliche Verlauf einer veränderlichen Stromintensität, wie auch EMK lässt sich ermitteln und graphisch registrieren durch zum Registrieren geeignete Anordnung von Apparaten nach den in dem Abschnitt über elektrische Messungen zu besprechenden Prinzipien, welche den Veränderungen müssen frei folgen können: Rheographie, Oszillographie. Eventuell kann die Elektrolyse zur Aufzeichnung dienen, es kann das Prinzip des verschiebbaren Kontaktes („Rheotomverfahren“ der Elektrophysiologie) Verwendung finden, endlich die Ablenkung der sog. Kathodenstrahlen durch das Magnetfeld; jedenfalls wird man überall, wo irgend möglich, um die Trägheit massehaltiger Schreibhebel zu vermeiden, die photographischen Registriermethoden vorziehen. Näher kann, soweit nicht später noch für spezielle Zwecke darauf zurückzukommen ist, hier leider nicht auf dieses interessante Arbeitsfeld eingegangen werden.

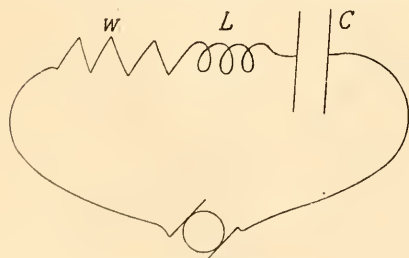
32. Resonanz.

Enthält ein Wechselstromkreis hintereinander Widerstand w , Selbstinduktion L und Kapazität C , so wird erstere den Strom gegen die EMK verzögern, die zweite beschleunigen; der gesamte Wechselstromwiderstand wird ausgedrückt werden durch

$\sqrt{w^2 + \left(\omega L - \frac{I}{\omega C}\right)^2}$; sind ωL und $\frac{I}{\omega C}$ genau gleich, so kompensieren sich Selbstinduktion und Kapazität in ihrer Wirkung,

Strom und EMK verlaufen synchronisch, als ob nur der Widerstand w da wäre.

Wenn dieses der Fall ist, können aber dennoch die Teilspannungen innerhalb L und C (Fig. 29) sehr beträchtlich sein; — unter Umständen viel grösser als die Gesamtspannung E : d. h. es „schwingt“ die Elektrizität zwischen L und C , Selbstinduktionsspule und Kondensator mit Kapazität, „hin und her“; man bezeichnet diese Erscheinung als „Resonanz“, indem jene beiden, wie zweitonende Körper (Stimmgabeln, Saiten usw.) auf eine bestimmte Schwingungszahl „abgestimmt“ sind.



Wechselstromquelle.

Fig. 29.

Diese Schwingungen würden ohne Energiezufuhr von aussen in infinitum weiterdauern, wenn $w = 0$ sein könnte, denn dann wären die Spannung in der Spule $E_L = i \sqrt{w^2 + \omega^2 L^2}$ und diejenige in der Kapazität $E_C = \frac{i}{\omega C}$ genau gleich und die Gesamtspannung $E_g = E_L + E_C = 0$. Man hätte den Fall der „vollkommenen Resonanz“ also stets dann, wenn die Dauer einer Wechselstromperiode genau $= 2\pi \times \sqrt{L \cdot C}$; denn $\omega L = \frac{1}{\omega C}$; $\omega^2 = \frac{1}{LC}$; $\omega = 2\pi n = \frac{2\pi}{T}$, also $T = 2\pi \sqrt{L \cdot C}$; in Wirklichkeit hat die Selbstinduktionsspule stets Widerstand, so dass zur Erhaltung der Schwingungen dauernde Zufuhr von Elektrizität nötig ist; je grösser der Widerstand, desto „gedämpfter“ die Schwingungen.

33. Hochfrequenzströme.

Erzeugt man durch Unterbrechung eines konstanten Stromes in der Primärwicklung eines Funkeninduktors in dessen Sekundärwicklung Wechselströme und schaltet eine oder mehrere Leydener Flaschen ein, so erhält man sehr langsame (T etwa

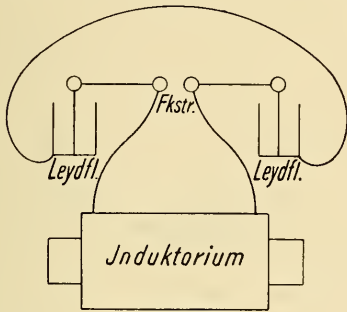


Fig. 30a.

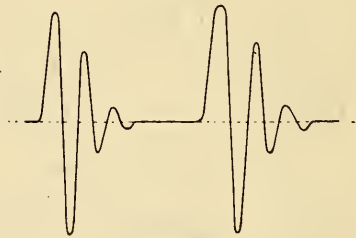


Fig. 30b.

$= \frac{1}{100}$ sec.) und wenig gedämpfte elektrische Schwingungen: verbindet man die inneren Belege (Skizze Fig. 30a) durch eine Funkenstrecke, so entspricht jeder Einzelschwingung resp. jedem Unterbrechungsfunken eine Reihe sehr schneller stark gedämpfter Schwingungen (Fig. 30b): In jeder derselben kann die Stromstärke zwischen solchen Grenzen (Tausende von Ampère) schwanken, dass in einem zur Funkenstrecke parallelen geschlossenen Leiter auch noch in weiter Entfernung durch Induktion Glühlampen zum Leuchten gebracht werden. Man kann in den letzteren den menschlichen Körper einschalten, ohne jede physiologische Wirkung, wegen der zu hohen Schwingungsfrequenz („Autokonduktionsversuch“ von d’Arsonval). Schaltet man zu der Funkenstrecke, oder besser noch nach Figur 31 zu einer die äusseren Belege zweier Kondensatoren verbindenden dickdrähtigen Spirale parallel und wohlisoliert eine dünn-drähtige Spule, so erhält man in dieser gewissermassen die Schwingungen hinauftransformiert als „Wechselströme von sehr

hoher Spannung und Frequenz“: Versuche von Tesla; es ist nicht einmal Schliessung der Sekundärspule des Teslatransformators nötig; derselbe bildet ein Schwingungsfeld, in dem Röhren mit verdünnten Gasen noch in grosser Entfernung leuchten („Kaltes Licht“, „Lumineszenz“; auch der „Autokonduktionsversuch“ mit der Glühlampe gelingt hier „unipolar“). Da indessen die Kapazität des menschlichen Körpers usw. verschieden sein kann, muss für Resonanz zwischen dem „primären“ und „sekundären Schwingungskreise“ (der letztere braucht, wie gesagt, nicht geschlossen zu sein) gesorgt werden, indem die Selbstinduktionen variabel gemacht werden: Dies erreicht der sog. „Resonator“ von Oudin in einfacher Weise, indem beide Kreise aus einer kontinuierlichen Spirale be-

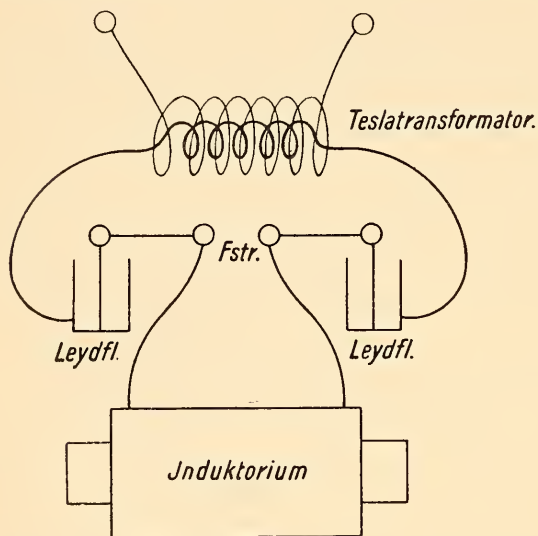


Fig. 31.

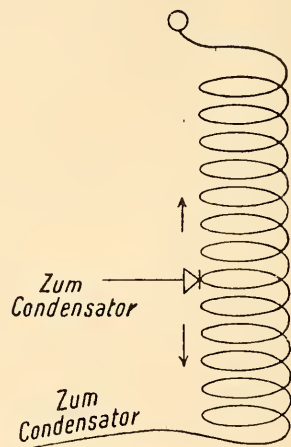


Fig. 32.

Schema von Oudins Resonator.

stehen, deren unteres Ende mit dem einen äusseren Kondensatorbeleg verbunden ist, während der andere mit einem verschiebbaren Kontakt in Verbindung steht, welcher gestattet, Windungen nach Belieben dem primären oder sekundären Leiter zuzufügen; von der obersten Windung wird „unipolar“ abgeleitet (Schema Fig. 32). Die therapeutische Verwendung dieser Anordnungen siehe im Abschnitt „Elektrotherapie“.

34. Elektrische Wellen. Drahtlose Telegraphie. Theoretische Bedeutung der neuentdeckten Strahlungserscheinungen.

Nach Maxwells elektromagnetischer Lichttheorie, wonach die Lichtschwingungen nur elektrische Schwingungen von sehr kleiner Schwingungsdauer, also sehr hoher Frequenz sein sollten, müsste auch die induzierende Wirkung der elektrischen Schwingungen sich wellenförmig durch den Raum hin fortpflanzen und zwar mit der

Lichtgeschwindigkeit gleich 300000 km in der Sekunde (vergl. S. 17). Da aber die Wellenlänge $\lambda = v \cdot T$ (Fortpflanzungsgeschwindigkeit mal Schwingungsdauer), würden sich für die bis jetzt betrachteten Schwingungen zwischen $\frac{1}{100}$ und 1 Millionstel Sekunde Dauer immer noch Riesen-Wellenlängen ergeben.

Durch weitere Herabsetzung von Kapazität und Selbstinduktion gelang es bekanntlich Heinrich Hertz mittelst seines Oszillators die Schwingungsdauer bis auf $\frac{1}{100}$ Millionstel Sekunde herabzusetzen und auf diese Weise Wellen von etwa 3 m Länge zu erhalten, deren Verhalten — Reflexion, Brechung, Beugung, Polarisation — mit dem auf den Oszillator abgestimmten Resonator untersucht werden konnte und in der Tat sich durchaus demjenigen der Lichtwellen analog zeigte. Bekanntlich haben derlei Wellen bereits wichtige, technische Verwendung gefunden in der sog. drahtlosen Telegraphie (Marconi, Braun, Slaby-Arco). Es schien so die Maxwellsche Theorie praktisch bestätigt und das Wesen der Elektrizität als in Schwingungen des Lichtäthers bestehend erkannt zu sein. Indessen haben doch wieder die neueren Untersuchungen über die Elektrizitätsleitung in Gasen umwälzend gewirkt: Man hat über diese letzteren sich eine ganz analoge Vorstellung gebildet, wie über die in einem gesonderten Abschnitt zu besprechende Elektrizitätsleitung in Flüssigkeiten, dass nämlich die Gasmoleküle in mit dem elektrischen Strom wandernde Teilchen, die „Ionen“, gespalten oder „dissoziiert“ seien; und die neuesten Erfahrungen über bei der Elektrizitätsleitung durch verdünnte Gase auftretenden Strahlungserscheinungen — magnetische Ablenkung der Kathodenstrahlen, Beeinflussung der Lichtschwingungen einer metallsalzgefärbten Flamme durch das Magnetfeld — haben zu der Annahme geführt, dass die sich bewegenden Teile bei allen Strahlungserscheinungen, elektrischen wie optischen, von der Materie sich loslösende allerkleinste Partikel („Urquanten“) zweier verschiedener Art (+ und —) seien, deren Vorwiegen nur in einer Art die elektrische Ladung der Körper, resp. „Ionisierung“ der leitenden Gase und Elektrolyten bewirkt. Man nennt diese Teilchen „Elektronen“, und es lässt sich nicht leugnen, dass hiermit für die Elektrizitätslehre eine Art Rückkehr zur Vorstellung von den zwei Fluiden gegeben ist. An dieser Stelle näher darauf einzugehen, ist unmöglich. Es sei dem Leser dringend empfohlen, die letzten Abschnitte von Starkes experimentelle Elektrizitätslehre, Leipzig, Teubner, 1904, zu studieren, ferner Richarz' „Neuere Fortschritte auf dem Gebiete der Elektrizität“, Leipzig, Teubner, 1902 und: Lorentz, „Sichtbare und unsichtbare Bewegungen“, deutsch von Siebert; Braunschweig, Vieweg und Sohn, 1900.

35. Thermoelektrizität.

Wie elektrische Energie in Wärme, so kann auch umgekehrt Wärme in elektrische Energie umgewandelt werden: Die so entstehenden „thermoelektrischen Ströme“ sind die Umkehrung eines speziellen Falls der Wärmeerzeugung aus Elektrizität, welcher als „Peltier-Effekt“ bekannt ist. Bildet man aus zwei verschiedenen Metallen einen Ring, so dass zwei Verbindungs- (Löt-) Stellen da sind und lässt durch denselben einen Strom aus einer beliebigen Stromquelle fließen, so wird, je nach Art der Metalle und der Richtung des Stromes, ein Temperaturunterschied zwischen den beiden Lötstellen auftreten. Hat man solch einen Ring in zunächst stromlosem Zustand und erwärmt die eine Lötstelle resp. kühlt die andere ab, so wird umgekehrt ein Strom in dem Sinn entstehen, wie

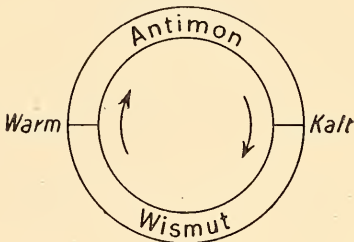


Fig. 33.

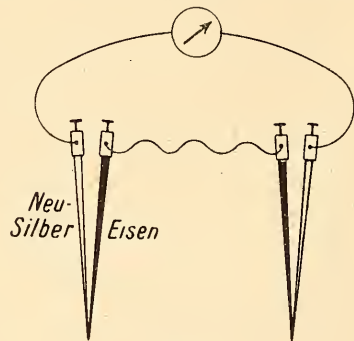


Fig. 34.

er, durchgeleitet, den entsprechenden Temperaturunterschied erzeugen würde: „Thermokette“, „Thermostrom“. Eine „thermoelektrische Spannungsreihe“ ordnet die Metalle in bestimmtem Sinne, z. B. dass der positive Strom bei Erwärmung der betr. Lötstelle in dieser von dem zuerststehenden in das späterstehende Metall fließt: Wismut, Nickel, Kupfer, Silber, Eisen, Antimon; es wird also in dem Ringe in Skizze Fig. 33 der Strom in der wärmeren Lötstelle vom Wismut zum Antimon fließen, in der kälteren vom Antimon zurück zum Wismut. Natürlich kann man einen oder mehrere Schließungsbögen aus anderen Metallen einschalten, muss aber alle Verbindungsstellen ausser den Lötstellen möglichst „thermisch isolieren“: Zu solch einem Thermoelement gehören immer zwei gleiche Lötstellen: Jede „Thermonadel“ für die Untersuchung von Temperaturdifferenzen an voneinander entfernten Hautstellen oder Organen, wie sie die Mediziner vielfach verwendet und modifiziert haben, Fig. 34, wäre danach gewissermassen nur ein halbes Thermoelement!! Man kann aber mehrere Lötstellen im Zickzack hintereinander anordnen, so dass die Reihe auf der einen Seite erwärmt wird, während die andere unverändert bleibt; man hat dann Hintereinanderschaltung so

vielfach der von einem einzelnen Thermoelement (Lötstellenpaar) gelieferten $E M K$, als Lötstellenpaare in dieser sogenannten „Thermosäule“, Fig. 35 vorhanden sind. Solche Thermosäulen werden im Kleinen zu physikalischen

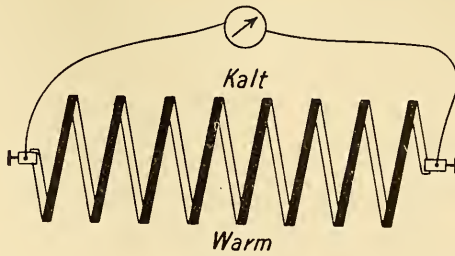


Fig. 35.

und physiologischen Wärmemessungen (Wärmeproduktion im tätigen Muskel seit Helmholtz) viel benutzt, in grösserem Masstabe, bei zweckmässiger Konstruktion (Gülcher), mit Gas geheizt, bilden sie eine bequeme Quelle kleiner Mengen nicht zu hoch gespannter Elektrizität für Elektrolyse in chemischen Laboratorien, Ladung kleiner Akkumulatoren usw.

Zweiter Abschnitt.

Elektrische Messungen, mit Ausschluss der elektrochemischen.

36. Absolute Masseinheiten.

Messen heisst vergleichen, — nämlich eine unbekannte, „zu messende“ Grösse mit einer bekannten, dem Masstab oder der Masseinheit.

Wir haben im vorigen Abschnitt die wichtigsten elektrischen Masseinheiten entwickelt, und zwar in sog. absolutem Masse: Jede zu messende Grösse lässt sich ja ausdrücken als (mathematische) „Funktion“ der drei Grundbegriffe: Masse, Weg (Länge) und Zeit — so Geschwindigkeit gleich Weg dividiert durch Zeit usw. — so dass die Masseinheit jeder der drei in einer bestimmten Dimension (Potenz im Zähler und Nenner usw.) darin vorkommt.

Wir haben verzichtet, diese Dimensionen im vorigen Abschnitt bei jeder Masseinheit anzugeben und verzichten auch hier darauf; sie finden sich in der Hauptsache kurz abgeleitet und zusammengestellt in Lommels Physik, 10./11. Aufl., S. 388 ff., ausführlicher in Starkes Elektrizitätslehre, Waltenhofens theoret. Mechanik, Internat. Masseinheiten und zahllosen anderen Büchern.

Als Masseinheiten für Masse, Weg und Zeit hat man nun möglichst direkt von der Natur gegebene — „absolute“ international festgesetzt: für die Zeit die Sekunde, für den Weg den roosten Teil des Meters (welches genau gleich einem Zehnmilliontel des Erdquadranten sein sollte, es aber wegen der Mängel der Gradmessung zur Zeit seiner Festsetzung — französische Revolution — leider nicht geworden ist) oder das Zentimeter, als Einheit für die Masse endlich diejenige eines Kubikzentimeter Wassers im Zustand grösster Dichte ($+ 4^0$) oder das

Gramm: daher Zentimeter-Gramm-Sekunden- oder C.-G.-S.-System (Geschwindigkeit = $\text{cm} \times \text{sec.}^{-1}$, desgl. elektrischer Widerstand usw. usw., siehe Lommel a. a. O. und die anderen Bücher). Die im vorigen Abschnitt angeführten technischen Einheiten für Stromstärke usw. sind einfache Vielfache (mit Potenzen von 10) der betr. (elektromagnetischen) absoluten C.-G.-S.-Einheiten; mit ihnen geeichte Messinstrumente heissen daher „absolute“ (Galvanometer usw.).

37. Messung der Stromstärke. Galvanometer.

Die Stromstärke, mit deren Messungsmethodik wir beginnen, lässt sich auch ohne solche geeichte Instrumente absolut bestimmen: 1. vermittelst der Tangentenbussole, d. h. eines Kupferkreises, in dessen

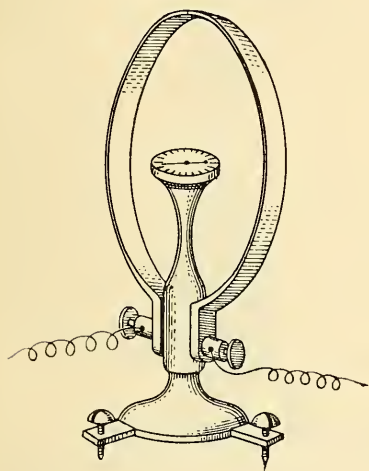


Fig. 36.
Tangentenbussole.

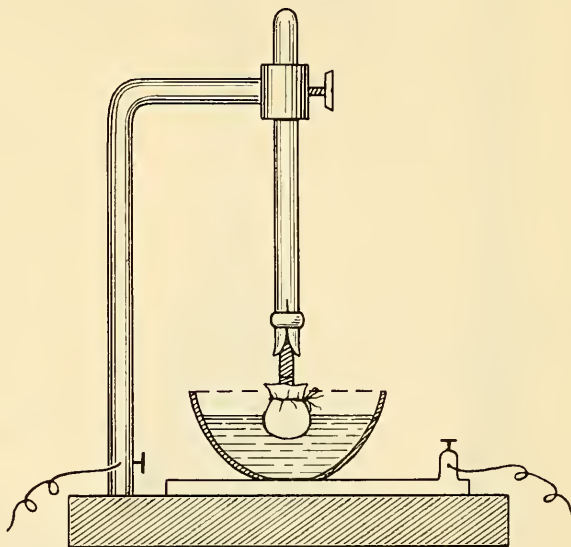


Fig. 37.
Silbervoltameter.

Mitte eine relativ kleine Magnetnadel aufgehängt ist (Fig. 36): Die Stromstärke ist dann proportional der Tangente des Ablenkungswinkels und umgekehrt proportional dem Radius des Kreises, lässt sich also, wenn man diesen und die Horizontalintensität des Erdmagnetismus an dem betreffenden Orte kennt, leicht in absolutem Masse ausrechnen. 2. Eine zweite liefert das „Voltameter“, eine „Zersetzungszelle“ (Fig. 37), in welcher die chemische Wirkung des Stromes (s. nächster Abschnitt) volumetrisch oder gewichtsanalytisch gemessen werden kann, somit auch die Stromstärke in absolutem Masse ausgedrückt, wenn man das „elektrochemische Äquivalent“ des Stromes (s. nächsten Abschnitt) für den betr. Körper kennt, z. B. weiss, dass im „Silbervoltameter“ der konstante Strom von 1 Ampère Stromstärke in der Sekunde 1,118 mg Silber ausscheidet.

Diese beiden Methoden können also dienen zur „empirischen Eichung“ von „Galvanometern“, d. h. Instrumenten, bei welchen die ablenkende Wirkung des Stromes verstärkt ist dadurch, dass man ihn durch zahlreiche Drahtwindungen gehen lässt — „Multiplikator“, (Schweigger), sei es, dass wie bei der Tangentenbussole der Magnet beweglich aufgehängt ist — Drehmagnetgalvanometer, sei es, dass ein fester Feldmagnet da ist, zwischen dessen Polen die Spule beweglich aufgehängt ist — Drehspulengalvanometer.

Die Nachdreh- oder Sinusbussole kann hier füglich übergangen werden; bei Demonstrationsgalvanometern mit Zeiger für gröbere Zwecke

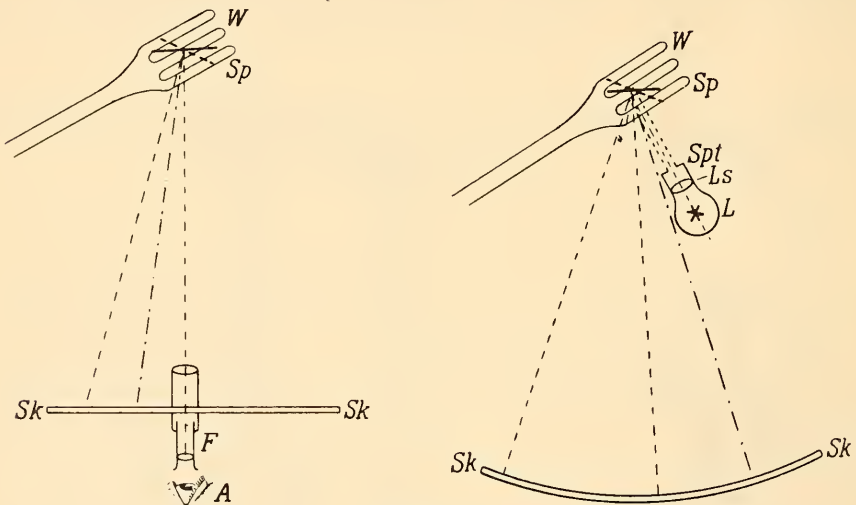


Fig. 38.

a) Subjektive

b) Objektive Spiegelablesung.

Sk Sk Skala, F Fernrohr, A Auge, W Windungen, Sp Spiegel, L Lampe, Spt Spalt, Ls Beleuchtungslinse.

wird keine Proportionalität der Ablenkungswinkel mit i stattfinden, da diese zu gross sind; dies hat aber bekanntlich statt, so lange der Winkel klein bleibt, und dies kann der Fall sein, und es kann die höchste Empfindlichkeit erreicht werden, wenn man sich zur Spiegelablesung entschliesst, deren Prinzip ja, wie allgemein bekannt ist, auf der gleichen Grösse von Ablesungs- und Reflexionswinkel beruht und welche für subjektive Einzelablesung (Fernrohr und Skala, Fig. 38a), oder aber für objektive Demonstration (Lampe mit Vorrichtung zur Herstellung eines Lichtstrahlenbündels, allgemein sichtbare Skala, Fig. 38b) eingerichtet werden kann. Für die Zwecke der Elektrophysiologie sind Spiegelgalvanometer unentbehrlich, deren Empfindlichkeit derart sein muss, dass 1 Skalenteil (mm) Ablenkung bei 1 m Skalenabstand gleich 10^{-9} bis 10^{-10} Ampère ist: dieser „Reduktionsfaktor“ ist mit bekannter EMK und bekanntem

Widerstand (insbesondere des Galvanometers selbst) ohne weiteres zu erhalten, siehe weiter unten. Diese hohen Empfindlichkeiten werden erreicht durch viele Windungen dünnen Drahtes, sowie bei Drehmagnetgalvanometern durch „Astasierung“: entweder das „Gehänge“ besteht aus einem oder mehreren „astatischen Paaren“ — Magneten, welche mit entgegengesetzter Polstellung miteinander fest verbunden sind, so dass die Wirkung des Erdmagnetismus möglichst aufgehoben wird — oder es ist ein leichter — Ring- oder Glocken- — Magnet innerhalb der Spulen

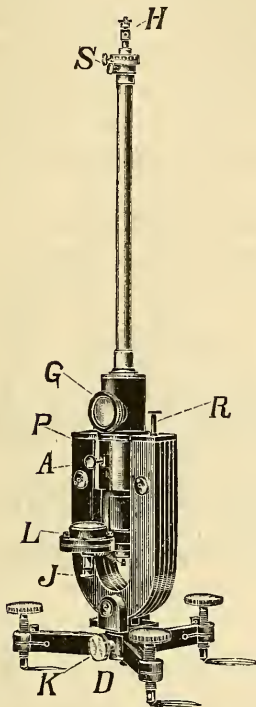


Fig. 39.

Hochempfindliches Drehspulgalvanometer von M. Th. Edelmann in München. (Die Buchstabenbezeichnung ist hier ohne näheres Interesse.)

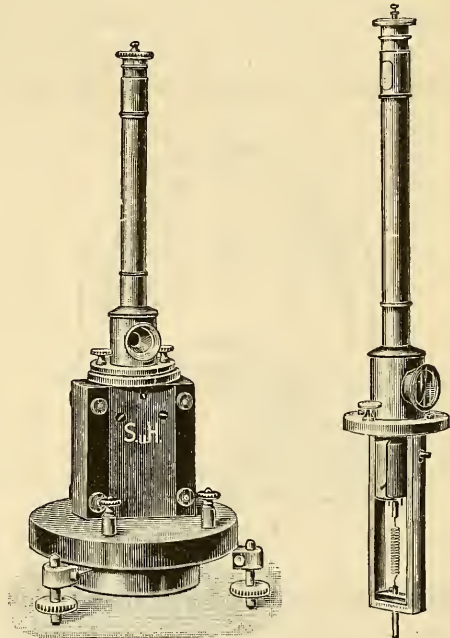


Fig. 40.

Drehspulgalvanometer von Siemens & Halske; rechts die innere Einrichtung.

aufgehängt und ausserhalb ein Magnet so angenähert (mit dem Nordpol nach Süden usw.), dass er die richtende Wirkung des Erdmagnetismus nahezu ganz aufhebt: Richtmagnet, Astasierungsmagnet, Hauyscher Stab. Letztere Form erlaubt die Anbringung eines kupfernen Dämpfers (s. oben) zwischen Gehänge und Windungen, in solcher Gestalt, dass völlige Schwingungsfreiheit erreicht wird: aperiodische Bussole von Wiedemann, Hermann-Plath, Siemens & Halske, Hartmann & Braun usw. Auch kann astatisches Gehänge mit einem oder mehreren Richtmagneten kombiniert werden; dies ist der Fall bei den Galvanometern nach Thomsons Konstruktionsprinzip, deren aller-

empfindlichste Form diejenige von Dubois-Rubens darstellt. Sie sind meist nicht schwingungsfrei; werden sie durch (Luft, Flüssigkeits- etc.) Dämpfung aperiodisiert, so sinkt ihre Empfindlichkeit beträchtlich. Für gewisse Zwecke, z. B. die Zeitmessung nach der Pouillet'schen Methode werden gerade Galvanometer mit ausgiebigen langsamen Schwingungen benötigt und ausgebildet als „ballistische Galvanometer“. Störend sind bei empfindlichen Messungen die Veränderungen des Erdmagnetismus und besonders fremde magnetische Felder („vagabundierende Ströme“ der elektrischen Strassenbahnen u. a. m.). Man hat sich vor ihnen durch die Schirmwirkung des Eisens (s. oben) schützen gelernt: „Panzergalvanometer“; oder aber man ersetzt die Drehmagnet- durch die „Drehspulgalvanometer“, seit langem von W. Thomson für Zwecke der submarinen Telegraphie (Heberschreiber) verwendet, vielfach als Deprez-

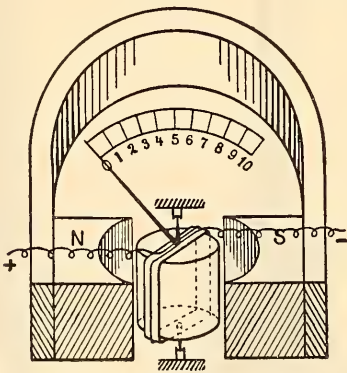


Fig. 41.

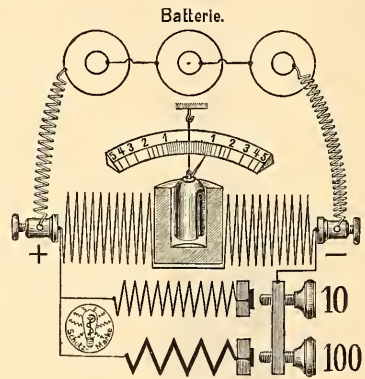


Fig. 42.

d'Arsonval-Galvanometer bezeichnet. Zur Aperiodisierung bedürfen sie eines Nebenschlusses, welcher aber bei passender Konstruktion recht wohl $\frac{1}{5}$ des Spulenwiderstandes haben kann, also die Empfindlichkeit kaum beeinträchtigt: hochempfindliche Drehspulgalvanometer von Edelmann, Siemens & Halske u. a. (Fig. 39 und 40).

Die Spiegelgalvanometer sind für wissenschaftliche Untersuchungen unentbehrlich; für direkte Ablesung der Stromstärke in der Technik, und zwar sowohl der „Schwachstromtechnik“, in welche auch die schwachen Ströme gehören, welche bei Einschaltung des menschlichen Körpers zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken resultieren, als auch der „Starkstromtechnik“, benutzt man Zeigergalvanometer, welche, der mangelnden Proportionalität halber, in der oben geschilderten Weise von Teilstrich zu Teilstrich geeicht werden müssen — in Ampère resp. deren Teilen: Ampèremeter, Milliampèremeter, allgemein absolute Galvanometer, und, wo der Zeiger auf einer horizontalen Skala einspielt, „Horizontalgalvanometer“, wo auf einer vertikalen, „Vertikal-

galvanometer“. Die Horizontalgalvanometer sind öfters Drehmagnetgalvanometer mit kleinen Siemensschen Glockenmagneten, in kupferner Dämpfungshülse (Fig. 42), die Vertikalgalvanometer haben ein Solenoïd, in welches ein mit dem Zeiger verbundenes Eisenstück je nach der Stärke des Stromes mehr weniger tief hereingezogen wird; neuerdings werden jedoch die absoluten Galvanometer meist als Drehspulgalvanometer konstruiert (Fig. 41) und funktionieren in jeder Lage und Stellung.

Einem und demselben Galvanometer können verschiedene Empfindlichkeitsgrade gegeben werden durch Anbringung von einem oder mehreren Nebenschlüssen von bestimmtem Widerstand, derart, dass z. B. bei Anbringung des ersten nur $\frac{1}{10}$ des Stromes durch das Galvanometer geht, $\frac{9}{10}$ durch den „Shunt“, eines zweiten nur $\frac{1}{100}$ des Stromes durch das G., $\frac{99}{100}$ durch den Shunt: so wird man ohne Nebenschluss Milliampère, bei Niederschrauben der ersten Schraube („10“) Hundertstelampère und bei Niederschrauben der zweiten Schraube („100“) Zehntelampère ablesen (Fig. 42). Oder es ist eine Kontaktkurbel angebracht, welche auf 1 stehend Milliampère, auf 10 stehend $\frac{1}{100}$ Amp., auf 100 stehend $\frac{1}{10}$ Amp. = 1 Teilstrich bedeutet.

38. Messung von Wechselströmen.

Die Stärke von Wechselströmen wird durch die Galvanometer nicht angegeben, da jeder Impuls nach der einen Seite, der den Magneten trifft, durch den gleich darauf folgenden nach der anderen Seite kompensiert wird (das „Zeitintegral“ der Stromstärke ist für beide Richtungen auch bei gewöhnlichen Induktorien gleich gross). Dies ist nicht der Fall, wenn man den Wechselstrom durch zwei Spulen fließen lässt, deren eine fest ist, während die andere beweglich ist, aber für gewöhnlich durch eine Feder (Torsionsfeder, Spirale) senkrecht zur anderen festgehalten wird: beim Durchgang jeder Art Strom wird nach den bekannten Gesetzen die bewegliche Spule zur Parallelstellung hinstreben und abgelenkt werden: man vermehrt nun entweder die Torsion der Feder durch den Torsionsknopf, bis wieder senkrechte Stellung erreicht ist: die Stromstärke ist der Wurzel des Nachdrehwinkels proportional, $i = K \times \sqrt{\alpha}$ (K = Reduktionsfaktor), oder man bringt eine empirische Eichung an, auf welcher der Zeiger spielt: solche Instrumente nennt man „Elektrodynamometer“. Statt dessen kann auch die Dehnung eines Drahtes benutzt werden, der durch den Wechselstrom erhitzt wird, und der mit dem Zeiger verbunden ist, — natürlich empirische Eichung: „Hitzdrahtampèremeter“. Beide Arten Instrumente werden im allgemeinen nur für relativ starke Ströme gebaut; zuverlässige Indikatoren (Wechselstrommilliampèremeter) für die schwachen Wechselströme der Schlitteninduktorien und der Sinusoïdalstromapparate, gar bei Einschaltung des menschlichen Körpers, sind noch ein frommer Wunsch.

39. Widerstandsmessung. Rheostaten.

Widerstände lassen sich zwar auch absolut messen durch Messung der in dem Leiter in der Zeiteinheit gebildeten Wärmemenge, werden aber gewöhnlich gemessen durch Vergleichung mit Normalwiderständen. Als solche hat man „Einzelwiderstände“ — Ohm, Teile desselben, Mehrfache desselben — und „Widerstandskästen“, Rheostate, in denen Sätze solcher Widerstände enthalten sind, meist ähnlich wie die Gewichte in den Gewichtsätzen zu 1, 2, 2, 5, 10 und so fort geordnet. Die

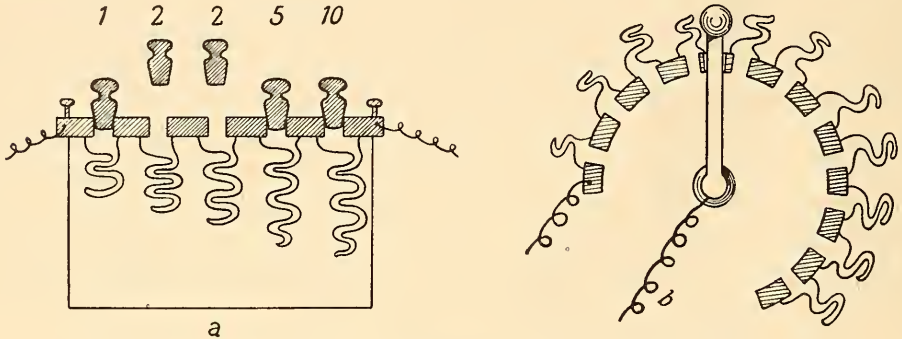


Fig. 43.

a Stöpselrheostat. b Kurbelrheostat.

Anordnung ist meist derart, dass statt eines jeden Widerstandes ein „Stöpsel“ als gutleitende Nebenschliessung eingesetzt werden kann: sind alle Stöpsel eingesetzt, so findet der Strom auf dem Wege von einer Klemme zur andern durch die Reihe Messingblöcke keinen nennenswerten Widerstand; durch Ziehen der betreffenden Stöpsel wird der betreffende Widerstand eingeschaltet (Fig. 43a). Kurbelrheostate finden sowohl zu Messungen als auch besonders zur Abstufung von Strömen für

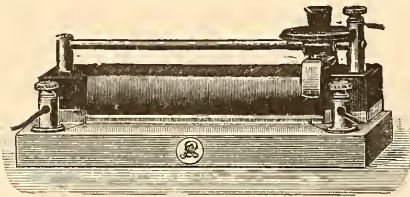


Fig. 44.

medizinische und technische Zwecke Anwendung, deren Stärke natürlich an einem eingeschalteten Messinstrument ablesbar sein kann: das Schema eines Kurbelrheostaten zeigt Fig. 43b. Neuerdings werden besonders technische Starkstromwiderstände noch häufiger als Schieberrheostaten angefertigt (Fig. 44); der (Nickelin-)Draht ist dabei in Form einer Spirale auf einen Porzellanzyliner oder ein Schieferprisma aufgewickelt, und

indem der Schieber von einer Windung zur nächsten gleitet (zur Vermeidung von Unterbrechung reicht er über mehrere gleichzeitig hin), erfolgt immerhin eine ruckweise Stromänderung: ganz allmähliche Abstufung gestattet ein Schieberkontakt, welcher längs eines gerade ausgespannten Drahtes gleitet („Rheochord“), auch kann

dieser als Spirale auf einem isolierenden Zylinder aufgewickelt sein und der Schieber folgt der Spirale, indem ent-

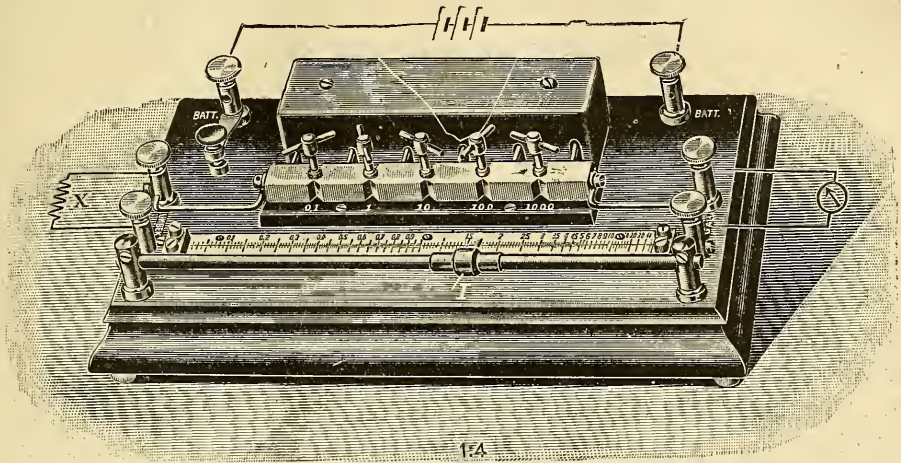


Fig. 45a.

Kleine Messbrücke von Hartmann & Braun in Frankfurt a. M.

weder der Zylinder drehbar angeordnet ist (Fig. 45b) oder der Schieber der Spirale nachfolgen kann (Fig. 46). Längs des

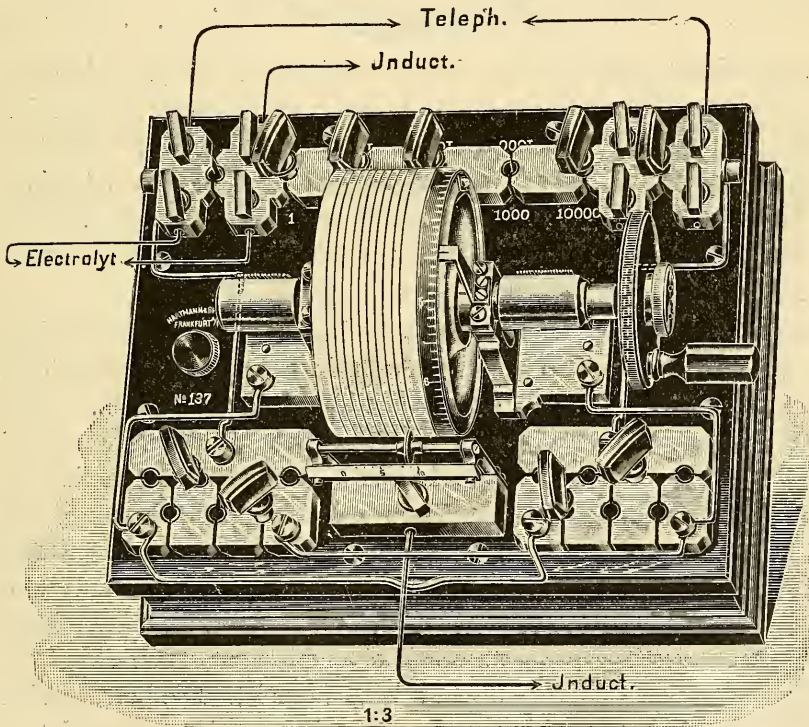


Fig. 45b.

Grosse Messbrücke mit Zylinderwiderstand zur Widerstandsbestimmung in Elektrolyten von Hartmann & Braun in Frankfurt a. M.

Drahtes ist eine Skala angebracht, und bei derartigen „Messdrähten“ haben stets beide Enden eine Klemme und der Schieber ist mit einer dritten verbunden, damit das Instrument für die häufigsten Methoden der EMK- und Widerstandsmessungen ohne weiteres brauchbar ist.

40. Wheatstonesche Brücke.

Man kann nämlich zwar erst den zu messenden unbekanntem Widerstand mit Galvanometer und Stromquelle in einen Kreis schalten, i ablesen, dann an der Stelle des unbekanntem Widerstandes den Rheostat setzen und dessen Widerstand ändern, bis i den gleichen Wert hat; — zweckmässiger und vorzugsweise angewendet ist indessen die als Wheatstonesche Brücke bezeichnete Stromverzweigungskombination. Sind vier Widerstände w_1, w_2, w_3 und w_4 im „Viereck“ angeordnet und enthält die eine „Diagonale“ die Stromquelle E, die andere das Galvanometer G, so zeigt dieses keinen Strom an („Nullmethode“), wie ohne weiteres aus den Kirchhoffschen Regeln folgt, dann, wenn $w_1:w_2$ wie $w_3:w_4$ (oder, was dasselbe $w_1:w_3$ wie $w_2:w_4$) (Fig. 47). Setzt man also als w_1 den unbekanntem Widerstand x, als w_2 einen bekannten (Rheostat) als $w_3 + w_4$ den Messdraht, so wird man den Schieber so lange verschieben, bis das Galvanometer auf Null zeigt und hier dann $x = \frac{w_2 \cdot w_3}{w_4}$. Solche Einrichtungen: Messdraht mit Schieber, Rheostat und passend angebrachte Klemmen heissen „Messbrücken“ Fig. 45a u. b und sind in allen Zweigen der Elektrotechnik von grösster Wichtigkeit; auch Galvanometer mit Brückeneinrichtung kombiniert werden angefertigt als sog. „Universalgalvanometer“: Wegen Anwendung der Brücke zur Widerstandsmessung von Elektrolyten siehe den nächsten Abschnitt.

41. Spannungsmessung.

Elektromotorische Kräfte ergeben sich nach dem Ohmschen Gesetz, wenn Intensitäten und Widerstände bekannt sind, durch Division der ersten durch die letzteren. Sie lassen sich ferner durch Vergleichung mit der EMK einer bekannten Stromquelle („Normal-element“) messen. Bedenkt man, dass bei zwei gleichen EMK von entgegengesetzter Richtung in demselben Stromzweig die Intensität gleich Null ist, so ist es klar, dass zu solch einer Messung auch ein Galvanometer brauchbar ist. Die betreffende Nullmethode in ihrer meistangewendeten Form ist als Poggendorffsche Kompensationsmethode bekannt. Die Enden

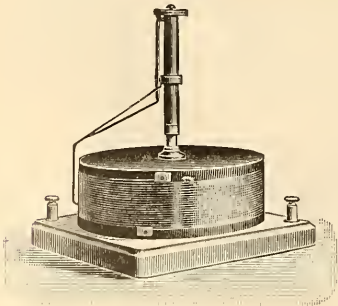


Fig. 46.

Fein regulierbarer Zylinderwiderstand, D.R.G.M., von Gebr. Ruhstrat in Göttingen.

eines Messdrahtes werden durch möglichst widerstandslose dicke Drähte mit der bekannten Stromquelle E verbunden, das eine Ende und der Schieber desgleichen mit der zu messenden EMK e und dem Galvanometer G : Fig. 48; man verschiebt, bis dieses auf Null zeigt, dann ist $\frac{e}{E} = \frac{w}{W}$

$e = E \frac{w}{W}$. Für diesen Zweck besonders zusammengestellte Einrichtungen heissen „Kompensatoren“, sie werden in der Elektrophysiologie auch zur Erhaltung der Nullstellung von Instrumenten (statt dauernder Ablenkung z. B. durch den Demarkationsstrom, siehe den vierten Abschnitt) angewendet.

Endlich gibt es auch Messapparate, welche die Spannung direkt zu messen gestatten; man nennt sie Elektrometer. Auf der Anziehung

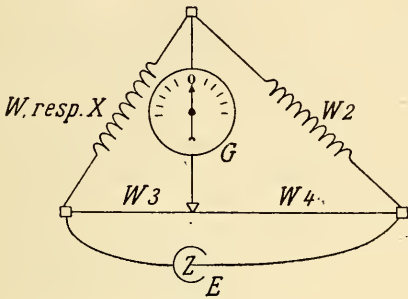


Fig. 47.

Wheatstonesche Brücke.

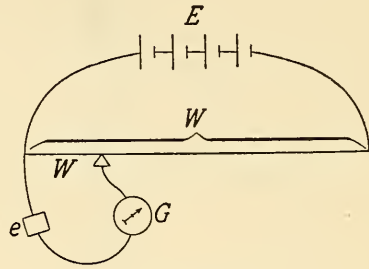


Fig. 48.

Kompensationsschaltung.

und Abstossung „statischer“ Elektrizität beruht das sehr empfindliche Thomsonsche Quadrantelektrometer, dessen beide Quadrantenpaare mit den beiden Punkten verbunden werden, deren Potentialunterschied gemessen werden soll: Die „Nadel“ wird auf ein sehr hohes Potential geladen; ihre Ablenkung (Spiegelablesung!) ist dann der Potentialdifferenz zwischen den Quadrantenpaaren proportional.

Gleichfalls sehr empfindlich, dabei nur für Spannungen unter 2 Volt brauchbar, ist das Lippmannsche Kapillar-Elektrometer. Dasselbe, Fig. 49, besteht aus einem zur Kapillare ausgezogenen und mit Quecksilber gefüllten Glasrohr, welche in ein verdünnte Schwefelsäure und am Boden gleichfalls Quecksilber enthaltendes Glasgefäss eintaucht: Die Kapillarität verhindert das Quecksilber in der Kapillare am Ausfliessen, und wenn der untere Teil derselben bei Ausschluss von Luft mit Elektrolyt gefüllt ist, wird sich der Meniskus in einer von dem Drucke (darüberliegenden Quecksilbersäule) abhängigen Ruhestellung einstellen: Wird zwischen dem Quecksilber in der Kapillare und dem „Basisquecksilber“ in dem Säuregefäss eine Potentialdifferenz gesetzt, so ändert sich die Kapillarkonstante zwischen Quecksilber und Flüssigkeit, und es verschiebt sich der Meniskus

in der Richtung, welche der positive Strom haben würde (welcher aber durch das Elektrometer als „Kondensator“ kompensiert wird). Es kann nun entweder die Grösse der Verschiebung direkt an einer Skala abgelesen werden, oder aber die Verschiebung durch Druck kompensiert und dieser manometrisch gemessen werden. In beiden Fällen erfolgt empirische Eichung in Teilen eines Volt. Die Verschiebung wird entweder mit dem Mikroskop subjektiv beobachtet, oder das Bild der Kapillare mit dem Quecksilberfaden auf einen Schirm mit Skala projiziert, in beliebiger Vergrößerung.

Da das Kapillarelektrometer raschen Potentialänderungen gut folgt, kann es auch zur Registrierung ihres zeitlichen Ablaufes auf

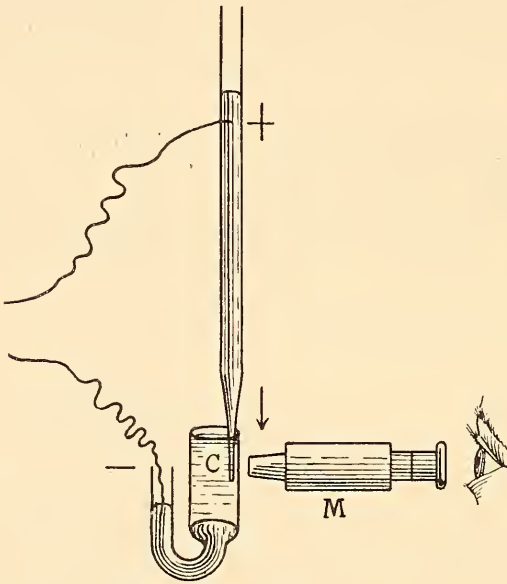


Fig. 49.
C Kapillare, M Mikroskop.

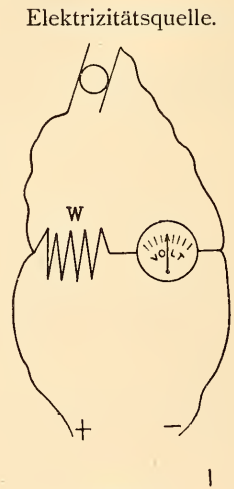


Fig. 50.
Schaltung des Voltmeters.

photographischem Wege benutzt werden, was besonders in der Elektro-physiologie mit Erfolg geschehen ist, siehe den vierten Abschnitt.

Auf das „absolute Elektrometer“ (Potentialwage) von Thomson (Lord Kelvin) kann hier nicht näher eingegangen werden.

Hat ein Galvanometer sehr grossen Widerstand und wird es zwischen den Klemmen, welche zu einem Schliessungsbogen mit relativ geringem und wenig wechselndem Widerstand führen, zu diesem in Nebenschluss geschaltet (Fig. 50), so sind seine Angaben proportional der Klemmspannung (nach allem bisher erörterten leicht verständlich): Es kann direkt in Volt geeicht werden: Voltmeter, gewöhnlich als Drehspulzeigergalvanometer konstruiert, wie die Ampèremeter. Ja, es kann durch Anbringung von Widerständen und Stöpsel-

umschaltung ein solches Instrument, mit zwei Skalen versehen, abwechselnd zur Strom- und Spannungsmessung dienen (Volt- und Ampèremeter, für medizinische Zwecke besonders empfohlen von Dubois in Bern, siehe später). Voltmeter für Wechselströme müssen nach dem Elektrodynamometerprinzip gebaut werden.

42. Messung der elektrischen Arbeit.

Hat man Volt- und Ampèremeter im Kreise, so gibt das Produkt ihrer Ablesungen die Voltampère oder Watt, das Mass der elektrischen Arbeit in der Zeiteinheit; multipliziert mit der Verbrauchszeit, erhält man die Gesamtleistung in Watt- resp. Kilowattstunden. Instrumente, welche diese direkt abzulesen gestatten, sind die „Elektrizitätszähler“, welche von den Zentralen aufgestellt werden bei den Stromabnehmern, wie die Gas- oder Wassermesser. Auf diese, die Wattmeter, welche jeden Augenblick die Watts direkt abzulesen gestatten, die Technik der Effektmessung überhaupt und speziell bei Wechselströmen kann hier unmöglich eingegangen werden. Wer sich hierfür interessiert, besonders aber auch in die Lage kommt, für wissenschaftliche Zwecke feine elektrische Messungen vornehmen zu müssen, findet das Nötige in den schon erwähnten Büchern, ferner in Kohlrauschs Leitfaden der praktischen Physik, u. a. m.

Dritter Abschnitt.

Elektrolyse und Elektrochemie in ihren Beziehungen zur Biologie.

43. Die physiologischen Wirkungen bewegter Elektrizität, wie auch das Auftreten von Elektrizitätsbewegungen in lebendigen Gebilden sind verständlich nur auf Grund der Gesetze der Elektrizitätsbewegung in nichtmetallischen Leitern oder sog. Leitern zweiter Klasse, zu welchen ein Teil der Flüssigkeiten gehört, während andere Flüssigkeiten — Alkohol, Benzol usw. — Isolatoren oder Dielektrika (s. oben) sind.

Diese leitenden Flüssigkeiten oder Leiter zweiter Klasse sind durchweg wässrige Lösungen von Säuren, Alkalien oder Salzen; das reine Wasser ist praktisch ein Isolator. Die lebendige Substanz, das Protoplasma tierischer und pflanzlicher Zellen enthält ja nun zwei Drittel bis drei Viertel ihres Gewichts Wasser und durchschnittlich sechs bis neun Tausendstel (bei Seetieren und -Pflanzen mehr) Mineralbestandteile; welche Rolle die organischen Verbindungen, besonders die sogenannten Kolloide, speziell Eiweisskörper, bei der Elektrizitätserzeugung spielen, davon wird noch die Rede sein; wir dürfen aber jedenfalls die lebendige Substanz, somit den tierischen und menschlichen Körper als leitende Flüssigkeit auffassen, neben welcher sehr schlecht leitende Teile, wie die Horngebilde, die Knochen usw., aber absolut keine Leiter erster Klasse — Metalle — vorhanden sind.

44. Elektrolytische Leitung; elektrolytische Dissoziation. Ionenwanderung.

Die Art der Elektrizitätsleitung ist nun in Flüssigkeiten eine ganz andere als in den Leitern erster Klasse. Sobald die Entdeckung

der sog. galvanischen Phänomene, insbesondere die Erfindung der Volta'schen Säule es erlaubte, genügende Elektrizitätsmengen durch Flüssigkeiten hindurchzusenden, erkannte man als sog. chemische Wirkung des Stromes das Auftreten von Zersetzungsprodukten an den Berührungsflächen der Flüssigkeit mit den metallischen Teilen der Kette, welche Stellen als Elektroden bezeichnet werden: die „positive“ Elektrode oder Eintrittsstelle des Stromes von positiver Elektrizität heisst, wie schon auf S. 14 erwähnt, die Anode; die „negative“ Elektrode, die Austrittsstelle des positiven (resp. Eintrittsstelle des negativen) Stromes heisst die Kathode: — so beim Durchgang des Stromes durch angesäuertes Wasser das Auftreten von Wasserstoff an der Kathode und Sauerstoff an der Anode. Indem man erkannte, dass ein dauernder (konstanter) Strom durch eine Flüssigkeit, erkenntlich an dauernder Ablenkung des Galvanometers, nur mit gleichzeitigem Auftreten von „Zersetzungsprodukten“ möglich ist, mit „Elektrolyse“, hat man die Elektrizitätsleitung in Flüssigkeiten elektrolytische Leitung und die leitenden Flüssigkeiten „Elektrolyte“ genannt. Die an den beiden Elektroden auftretenden Zersetzungsprodukte sind verschiedenartig, sie machen die vorher „gleichartigen“ Elektroden „ungleichartig“ und stehen mit dem dazwischen befindlichen Elektrolyt derart in der Spannungsreihe (siehe oben), dass zwischen ihnen eine derjenigen der Quelle des Stromes entgegengesetzte Potentialdifferenz herrscht, welche einen dem ursprünglichen entgegengesetzten Strom, den Strom der (elektrolytischen) Polarisation veranlasst, dessen elektromotorische Kraft eben durch die ständige Abscheidung der „Zersetzungsprodukte“ gegeben, deren Grösse — Potentialdifferenz — ihrer Stellung (zusammen mit der Flüssigkeit) in der Spannungsreihe entspricht: sie beträgt zum Beispiel für Wasserstoff zu Sauerstoff etwa 2 Volt in der Richtung von der Kathode durch die Flüssigkeit zur Anode, so dass ein Strom, dessen Quelle nicht diese Spannung besitzt (Zersetzungsspannung), durch die Polarisation aufgehoben, annulliert wird, wenn man ihn mit Platinelektroden durch angesäuertes Wasser leitet. Es gibt aber auch Zusammenstellungen von Elektroden und Flüssigkeit, welche trotz der Elektrolyse ihre Zusammensetzung nicht ändern: dies ist z. B. der Fall, wenn die Flüssigkeit die (gesättigte) Lösung eines Metallsalzes ist, deren eines Zersetzungsprodukt dann eben das Metall ist, und beide Elektroden aus eben diesem selben Metall (in reinem Zustande) bestehen: es schlägt sich dann an der Kathode Metall auf gleichem Metall nieder, während an der Anode das Zersetzungsprodukt, die Säure oder vielmehr ihr „Radikal“ von dem Elektrodenmetall auflöst und als gleiches Salz in Lösung bringt: solche Kombinationen heissen „unpolarisierbare“.

Wie Faraday fand, ist 1. die an einer Elektrode abgeschiedene

Menge Zersetzungsprodukt der in der Zeiteinheit hindurchgegangenen Elektrizitätsmenge, d. h. also der Stromstärke oder Intensität i proportional, 2. bei gleicher Stromstärke sind die verschiedenen Zersetzungsprodukte nach ihrem Gewichte den chemischen Äquivalentgewichten proportional; es kann somit die Menge der Zersetzungsprodukte zur Messung der Stromstärke dienen — die Apparate heissen Voltmeter (s. schon Seite 43) —: im Wasservoltmeter erscheinen bei 1 Ampère in der Sekunde

Wasserstoff	H (1)	0,00001046 g	
Sauerstoff	O (ca. 16)	0,00008289 „	
Silber	Ag (ca. 108)	0,001118 „	im Silbervoltmeter
Zweiw. Kupfer	Cu (ca. 64)	0,003294 „	im Kupfervoltmeter.

Diese Zahlen heissen elektrochemische Äquivalente. Nun ist aber das erste Faradaysche Gesetz nur erklärlich dadurch, dass mit der Elektrizität Teilchen der in der Flüssigkeit selbst enthaltenen Stoffe wandern und als „Zersetzungsprodukte“ an den Elektroden erscheinen: darum nannte sie Hittorf zuerst die Ionen (*ίόν* das gehende, wandernde, besser wäre „Ionten“), und die pro Einheit der Stromstärke und Zeiteinheit — Sekundenampère — an den Elektroden erscheinenden Mengen „Überführungszahlen“; sie verhalten sich, soweit es sich um Elemente handelt, wie die oben erwähnten „elektrochemischen Äquivalente“; doch sind das, was da wandert, teilweise „Radikale“, von denen schon Berzelius' elektrochemische Theorie angenommen hatte, dass sie elektrische Ladungen besäßen, auf denen gerade die Affinität, die Bildung der Verbindungen beruhe. Dass nun in den Elektrolyten die Verbindungen zum Teil von vornherein in Ionen zerspalten seien, hatte bereits Clausius postuliert; die Untersuchungen von de Vries und Van t' Hoff über den osmotischen Druck führten zum Ausbau (besonders seitens Arrhenius und Nernst) der Theorie von der „elektrolytischen Dissoziation“ der Lösungen, welche besagt, dass jedes Elektrolytmolekül aus zwei Bestandteilen, den Anionen oder elektronegativen Ionen und den Kationen oder elektropositiven Ionen besteht, welche beide Bestandteile mit gleichgrossen, aber entgegengesetzten Elektrizitätsmengen geladen sind. In einer Flüssigkeit nun, deren Teilchen das Bestreben besitzen, sich wie bei den Gasen, in äusserst schnelle Bewegung zu setzen, haften zwar die beiden Arten von Ionen in den Molekülen zunächst durch die elektrostatische Anziehung der ungleichnamigen elektrischen Ladungen aneinander; bei einer gewissen Anzahl der Moleküle aber werden sie durch eben die Bewegungstendenz auseinandergerissen und können wandern: die Anionen oder elektronegativen Ionen, dem Gesetze der elektrostatischen Anziehung entsprechend, nach der positiven Elektrode oder Anode, die

Kationen ebenso mutatis mutandis nach der Kathode: die Zahl der dergestalt in ihre Ionen „dissoziierten“ Moleküle wächst mit zunehmender Verdünnung; das Verhältnis der dissoziierten zu der Gesamtzahl der Elektrolytmoleküle heisst der Dissoziationsgrad α ; er wird $= 1$, das heisst alle Moleküle sind (praktisch) in ihre Ionen dissoziiert bei äussert starker Verdünnung.

In letzterem Falle ist die Leitfähigkeit (der auf 1 Gramm-Molekül pro Liter berechnete reziproke Wert des spezifischen Widerstandes) gleich der Summe der Wanderungsgeschwindigkeiten der beiden Ionen-Arten: $\lambda_{\infty} = u + v$; sonst ist der Dissoziationsgrad gleich dem Quotienten der Leitfähigkeit bei der betreffenden Verdünnung durch die Leitfähigkeit bei unendlicher Verdünnung:

$$\alpha = \frac{\lambda_v}{\lambda_{\infty}}.$$

Für die Abhängigkeit der Leitfähigkeit vom Verdünnungsgrade hat Ostwald ein Gesetz aufgestellt, welches indessen nur für schwach dissoziierte Elektrolyten streng gültig ist.

Über die Bestimmung der Leitfähigkeit von Flüssigkeiten siehe weiter unten.

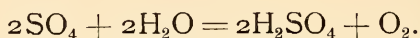
Vermittelt obiger Formeln lässt sich, wie man sofort sieht, auch die Wanderungsgeschwindigkeit der einzelnen Ionen aus Leitfähigkeiten und Dissoziationsgrad bestimmen; so fanden als absoluten Wert ($\frac{\text{cm}}{\text{sec}}$) für Silberionen Nernst und Loeb $59,1 \times 10^{-7}$ bei $+25^{\circ}$.

Wie schon durch die verschiedenen Buchstaben u und v angedeutet, ist die Wanderungsgeschwindigkeit von zueinander gehörigen Anionen und Kationen nicht gleich, unbeschadet dem Äquivalentgesetz: während des Stromes wird die Lösung an der einen Elektrode konzentrierter, an der anderen verdünnter. Die Wanderungsgeschwindigkeit ist ferner bei Ionen, die Radikale sind, von deren Konstitution bedingt, bei Isomeren gleich gross usw.

45. Sekundäre Reaktionen. Produkte der Elektrolyse.

Die Ionen dürfen auf keinen Fall mit den chemischen Bestandteilen einer Verbindung als solchen oder gar den an den Elektroden sinnlich erkennbaren Zersetzungsprodukten verwechselt werden; sie sind nur in der Lösung als solche vorhanden, sowie im Status nascendi, d. h. wenn sie bei einer mit der Lösung angestellten Reaktion (*corpora non agunt nisi fluida!*) oder eventuell an der Elektrode angelangt Gelegenheit haben zu chemischer Umsetzung: ist letzteres an der Elektrode nicht der Fall, so geben sie ihre elektrische Ladung ab, welche sich mit entgegengesetzter Elektrizität der Elektrode neutralisiert, und werden zum nicht ionisierten Körper, z. B. die (einwertigen) H^+ -Ionen zum gasförmigen, an der Kathode aufsteigenden Wasserstoff H_2 , oder die (ein- oder zweiwertigen) Cu^+ -Ionen zum metallischen auf der Kathode sich

ablegenden Kupfer (Galvanoplastik!). Die Radikale darstellenden Ionen reagieren an ihrer Elektrode stets mit dieser oder mit Bestandteilen der Flüssigkeit, wozu auch das Lösungsmittel gehört, so dass hier die Zersetzungsprodukte nicht von „Zersetzung durch den Strom“ herrührend, sondern durch „sekundäre Reaktion“ entstanden zu denken sind: so bei der Wasserzersetzung durch den Strom: reines Wasser leitet nur sehr schlecht; bei der verdünnten Schwefelsäure wandern die (je zwei) $\overset{+}{\text{H}}$ -Ionen zur Kathode — weiteres siehe oben —, die (zweiwertigen) $\overset{-}{\text{SO}}_4$ -Ionen zur Anode, wo sie Wasser zersetzen, sich mit dessen Wasserstoff zu Schwefelsäure verbinden, während Sauerstoff frei wird:



Analog verbinden sich in der oben erwähnten „unpolarisierbaren“ Kombination die SO_4 -Ionen mit Cu zu CuSO_4 . Analog ist auch der Vorgang beim Zinkverbrauch im galvanischen Element: die SO_4 -Ionen verbinden sich mit dem Zink zu ZnSO_4 : die hierbei frei werdende Energie ist die Kraftquelle des elektrischen Stromes.

46. Nernsts¹⁾ Theorie der galvanischen Kette bringt weiterhin die Elektrizitätsbewegung in dieser mit der Tendenz jeden Metalles in Verbindung, in Form von Ionen in umgebendem Wasser oder wässriger Flüssigkeit in Lösung zu gehen — „elektrolytischer Lösungsdruck“, „Lösungstension“, welche dem osmotischen Druck der Metallionen in einer Lösung entgegenwirkt, der umgekehrt zur Niederschlagung der letzteren auf ein eingetauchtes Metall hinstrebt: es kommt nun darauf an, welcher von beiden überwiegt; weiter haben ja aber die Metallionen verhältnismässig riesige positiv elektrische Ladungen, deren Kompensation durch die gleichzeitige negative Ladung des Metalles (s. unten) im ersten Falle, der Flüssigkeit im zweiten Falle im allgemeinen das in Lösung gehen bzw. sich Niederschlagen verhindert: natürlich geben im zweiten Falle die sich niederschlagenden Ionen dem Metall ihre positive Ladung ab, ebenso, wie sie im ersteren durch ihre Ablösung es negativ laden. Taucht man nun in eine oder zwei durch ein Diaphragma kommunizierende Lösungen zwei Stücke verschiedener Metalle mit verschieden grosser Lösungstension und setzt die beiden herausragenden „Pole“ des „Elements“ durch einen Schliessungsbogen miteinander in Verbindung, so wird die Reaktion vor sich gehen können, weil hierdurch ein Ausgleich der elektrischen Ladungen, die mit der Auflösung bzw. Ausfällung der Metalle verbunden sind, ermöglicht wird, und zwar wird die Reaktion in dem Sinne sich abspielen, dass das Metall mit der grösseren Lösungs-

¹⁾ Ztschr. f. physikal. Ch. 1889, Bd. 4, S. 129.

tension (p_1 ; Zink im Daniellelement) seine Ionen in die Lösung hineinbefördert und das Metall mit der kleineren Lösungstension (p_2 ; Kupfer im Daniellelement) umgekehrt aus der Lösung herausfällt; dieser Vorgang hat als notwendige Folge eben eine Bewegung der positiven Elektrizität im äusseren Schliessungskreise vom Kupfer zum Zink, d. h. die Entstehung eines galvanischen Stromes in der erwähnten Richtung (cit. nach Nernst, theoret. Chemie, 3. Aufl., S. 667). Siehe Fig. 51.

Wegen der elektrischen „Doppelschicht“ auf dem Metalle siehe auch weiter unten bei der „Konzentrationskette“.

Reines Zink löst sich bekanntlich nicht in verdünnter Schwefelsäure; enthält dasselbe Beimengungen fremder Metalle, so bilden diese mit der Säure und dem Zink Lokalströme, und die Reaktion am Zink, wie oben, bedingt dessen Auflösung, Verbindung mit den SO_4 -Ionen zu ZnSO_4 .

Übrigens kann der hohe osmotische Druck der in jeder wässerigen Flüssigkeit vorhandenen Wasserstoff-Ionen zu deren wirklicher „Ausfällung“ — Wasserzersetzung mit Wasserstoffentwicklung — führen, sobald der Lösungsdruck eines Metalles sehr hoch ist: Alkalimetalle, Magnesium; Zink bei sehr hoher Temperatur.

Weiter auf diese Dinge einzugehen ist hier nicht der Ort.

Man kann die meisten Reaktionen der (speziell anorganischen) Chemie vom Standpunkte der Ionenlehre aus darstellen; es ist dies selbst in elementaren Anleitungen für Mediziner versucht worden, dürfte aber doch wohl nur Erschwerung des Verständnisses herbeiführen, wenn z. B. die grüne Farbe als Eigenschaft der zweiwertigen, die gelbe als Eigenschaft der dreiwertigen Eisenionen dargestellt wird, die Metallfällungen als Ionenreaktion gemerkt werden sollen usw. Hier ist Verzicht auf ein wissenschaftlich ja unbedingt höher stehendes und für Erreichung eines gewissen Standpunktes und gewisse praktische Zwecke der Physiker und Chemiker erforderliches Ziel entschieden vorzuziehen.

47. Anwendungen der elektrolytischen Erscheinungen.

Technische Anwendung, die hier interessiert, macht man von der Elektrolyse mit Metallelektroden, an denen Produkte sekundärer Reaktion auftreten, z. B. zur Zerstörung von krankhaften und überflüssigen Gebilden. Näheres über die Elektrolyse tierischer Gewebe siehe im VI. und VIII. Abschnitt.

Der Polarisationsstrom ist verwertet in den sog. sekundären Elementen resp. Batterien oder Akkumulatoren (s. S. 16); die unpolarisierbare Kombination in der Klasse der konstanten galvanischen Elemente vom Typus des Daniell-Elementes, sowie für die unpolarisierbaren Elektroden in elektrophysiologischen und -patho-

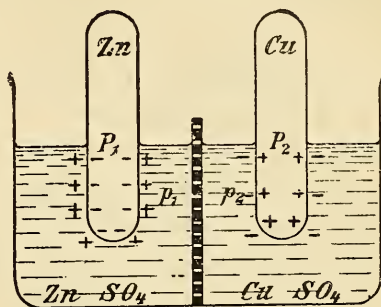


Fig. 51.

logischen Versuchen, zum Zweck der polarisationsfreien Zuleitung von Strömen zu lebenden Gebilden, und der Ableitung in dieser selbst erzeugter Ströme.

Die Theorie von der elektrolytischen Dissoziation ist wichtig für die Molekularuntersuchung verdünnter Elektrolyte, somit (s. oben) auch der lebendigen Gebilde: sie erhielt ja dadurch ihre Ausbildung, dass man den osmotischen Druck der Lösungen bei stärkerer Verdünnung nicht, wie es die Theorie der Lösungen (Analogie zu den Gasen mit ihrer Avogadro'schen Regel) verlangt, entsprechend der abnehmenden molekularen Konzentration (abnehmende Stückzahl der Moleküle) gleichfalls abnehmend fand, sondern grösser, als es dieser entspricht: grösser eben deshalb, weil mit zunehmender Verdünnung immer mehr Moleküle in ihre Ionen gespalten sind, deren jedes für sich, gleichsam als Stück, Molekül, seinen osmotischen Druck ausübt.

Wir haben oben die Beziehung zwischen Dissoziationsgrad und (molekularer) Leitfähigkeit kennen gelernt: Die Bestimmung der letzteren wird also ein Mittel zur Kenntnis des ersteren sein. Nun lehren schon Farbenreaktionen usw. (die ja heutzutage auch auf die Ionen bezogen werden sollen), dass in lebenden Zellen, Körperflüssigkeiten, besonders aber in Reaktionsgemischen, wie es der im Vorgange der Verdauung befindliche Inhalt von Magen, Darm usf. darstellt, Herstellung und Trennung von Verbindungen zwischen Elektrolyten resp. Ionen und den sog. Kolloiden stattfindet: Salzeiweissverbindungen, Säure-Eiweiss (Proteosen-, Pepton-) -Verbindungen, Alkali-, Metall- usw. „Albuminate“: Diese können, insofern der eine Bestandteil keiner (oder nur schwacher elektrischer Ladung fähig ist, nur „hydrolytischer“, nicht elektrolytischer Dissoziation unterliegen und daher den Dissoziationsgrad — den Gehalt an freien Ionen, resp. ungebundenen und ungespaltenen Elektrolytmolekülen — gegenüber kolloidfreiem Elektrolyt gleicher molekularer Konzentration wesentlich ändern; ausserdem verändert sich dieser Zustand mit dem Fortschreiten der Reaktion: Hierüber wird, durch rechnerische Einführung der Ergebnisse wertvollen Aufschluss liefern können die Bestimmung der Leitfähigkeit solcher Flüssigkeiten oder Gemische: So hat sie Sjögqvist¹⁾ mit Erfolg zur Untersuchung des Verhaltens der Salzsäure bei der Magenverdauung benutzt.

Die spezifische Leitfähigkeit ist hier, wie auch bei den Metallen (s. oben) der reziproke Wert des spezifischen Widerstandes: $\lambda = \frac{1}{K}$, molekulare Leitfähigkeit, wenn von der untersuchten Substanz 1 Grammolekül (z. B. bei H_2SO_4 $2 + 32 + 4 \times 16 = 98$ g) im Liter aufgelöst ist, und bei 1 cm Abstand der Elektroden voneinander oder darauf berechnet.

¹⁾ Skand. Archiv f. Physiol., Bd. V, S. 277; 1895.

Bestimmt wird der Widerstand auch bei Flüssigkeiten am besten nach dem Prinzip der Wheatstoneschen Brücke (s. oben); da aber bei Anwendung eines gleichgerichteten konstanten Stromes die Polarisation auftritt und einen an sich nicht vorhandenen Widerstand vortauschen würde, so verwendet man nach Kohlrauschs Verfahren Wechselströme, erzeugt von einem kleinen Induktorium mit Federunterbrecher (s. oben), bei welchem die Polarisierungen im abwechselnden Sinne rasch nacheinander stattfindend, sich gegenseitig aufheben; sowie an Stelle des Galvanometers im „Nullzweige“ der Brückenkombination ein Telephon, dessen durch die Wechselströme erzeugter Ton verschwindet (am schwächsten ist), wenn x (resp. w_1): w_2 wie w_3 zu w_4 : Fig. 52 zeigt in leicht verständlicher Weise das Schema der Anordnung; die zu untersuchende Flüssigkeit befindet sich in einem „Widerstandsgefäß“ zwischen platinieren Platinelektroden, dem, resp. denen verschiedene Formen gegeben werden können: siehe Fig. 53 a—c. Siehe auch die Abbildung einer „Messbrücke“ für solche Zwecke Fig. 45b auf Seite 49.

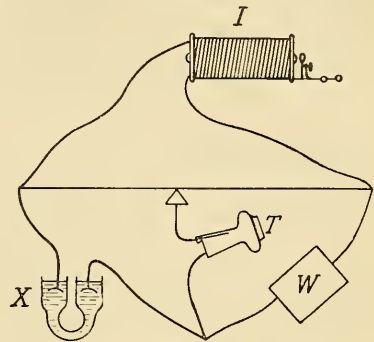


Fig. 52.

I Induktionsapparat. X Flüssigkeitsgefäß. W Rheostat. T Telephon.

Die Details der Ausführung solcher Messungen, sowie zahlreiche Tabellen über Leitungsfähigkeit und Wandergeschwindigkeiten von Ionen, die dem Mediziner und Biologen zu statten kommen können, sind in vor-

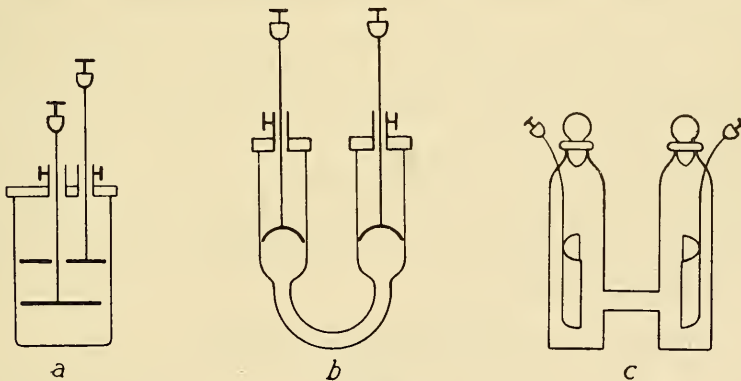


Fig. 53.

züglichster Weise angegeben, so dass man sofort danach arbeiten kann, in Hamburger, Osmotischer Druck- und Ionenlehre in den medizinischen Wissenschaften, Bd. 1, Wiesbaden 1902, S. 98—157.

48. Kataphorese.

Von der Elektrolyse im Prinzip streng zu trennen sind die Erscheinungen sog. mechanischer Fortführung von Teilchen durch den Strom, deren eine Art schon vor bald hundert Jahren von Reuss und Porret zuerst beobachtet, später von Wiedemann und Quincke, be-

sonders aber von E. du Bois-Reymond¹⁾ und H. Munk²⁾ näher untersucht worden ist. In schlecht leitenden Flüssigkeiten, insbesondere innerhalb poröser Körper oder Kapillaraggregate findet Transport von nicht in ihren Ionen dissoziierten Molekülen, bei Lösungen also auch des Lösungsmittels statt, und zwar für Wasser mit dem positiven Strom in der Richtung von der Anode weg zur Kathode hin. Diese Erscheinung lässt sich nicht nur an unpolarisierbaren Kombinationen mit zwischengeschalteter Tonzelle zeigen —



Fig. 54.

„Elektrodiffusion“, sondern auch an Zylindern von geronnenem Eiweiss, ausgeschnittenen Muskeln u. ä., in welchen von der Anode zur Kathode zunächst einmal Wasser fortgeführt wird, so dass an der ersteren eine Einschnürung („Würgung“), an dem letzteren Quellung stattfindet (siehe nebenstehende Fig. 54). Ausserdem werden aber auch in dem porösen Körper, sowie besonders in der „Elektrodenflüssigkeit“ gelöste Stoffe, und zwar auch Nichtelektrolyten mitgeführt. Hierdurch hat der gesamte (unter Einschluss der Ionenwanderung, s. unten), als „**Kataphorese**“ bezeichnete Vorgang grosse therapeutische Wichtigkeit erlangt, insofern sich vermittelt des Stromes lösliche Arzneimittel durch die Haut hindurch ins Innere der Gewebe einführen lassen. Näheres siehe im therapeutischen Abschnitt.

In umgekehrter Richtung als die Flüssigkeitsteilchen, resp. gelösten Partikel, bewegen sich nun (Jürgensen) suspendierte feste Teilchen, — also (für wässrige Flüssigkeiten) in der Richtung von der Kathode zur Anode — Elektrokonvektion, „anaphorische“ Wirkung —; zu erklären gesucht hat man beide Wirkungen dadurch, dass die festen Partikelchen durch Reibung mit der schlechtleitenden Flüssigkeit sich negativ laden, diese letzteren (wenigstens an der Oberfläche resp. Porenwand) positiv, somit mit dem positiven Strome nach der Kathode, erstere nach der Anode wandern (Quincke, Bredig).

49. Diffusion und Elektrizitätserzeugung.

Praktisch dürfte Einmischung elektrolytischer Vorgänge bei der Kataphorese wohl schwer ganz auszuschliessen sein; denn auch die Ionenwanderung kann zu den Diffusionserscheinungen in wichtige Beziehungen treten; insbesondere dann, wenn in den Weg der Ionen feinporigere Membranen eingeschaltet sind, von der Art, wie sie die physikalische Chemie (für den Grenzfall) als halbdurchlässig oder semipermeabel bezeichnet, d. h. sie lässt die Moleküle des Lösungsmittels durchtreten, diejenigen des gelösten Stoffes aber nicht. Dies ist nahezu theoretisch

1) Monatsber. d. Berl. Akad. 1860, S. 816.

2) du Bois' Archiv 1873, S. 241 und 505.

streng, z. B. für Zuckerlösungen bekanntlich der Fall mit Ferrocyanokupfer-Niederschlagsmembranen, wie sie durch Einlegen einer porösen Tonzelle erst in Ferrocyankalium- und danach in Kupfersulfatlösung erhalten werden; an solcher „künstlicher Zelle“ hat Pfeffer seine berühmten grundlegenden Messungen des osmotischen Druckes verschiedener Lösungen angestellt und seine Abhängigkeit von der molekularen Konzentration (Stückzahl der Moleküle) bestätigt. Solche semipermeable Membranen lassen bei der Elektrolyse vielfach nur die eine Art Ionen, entweder nur die Anionen oder nur die Kationen durch, oder (der Semipermeabilitätsbegriff weniger strenggültig) wenigstens die eine Ionenart leichter oder schneller passieren als die andere (Ostwald)¹⁾. Die grosse biologische Bedeutung dieser Wahrheit werden wir bald erkennen; es kann sich dabei um gleich- oder verschiedenartige, und gleich- oder verschiedenkonzentrierte Elektrolyten zu beiden Seiten der semipermeablen Membran handeln; jedenfalls wird durch die Zurückhaltung der einen Ionenart eine Ansammlung, also Konzentrationserhöhung derselben auf der einen Seite erzeugt, und damit nach dem bald zu besprechenden Prinzip der Konzentrationskette ein entgegengesetzt gerichteter Strom, welcher eine Verminderung des elektrolytisch geleiteten Stromes erzeugt, resp. bei der Widerstandsmessung einen Widerstand vortäuscht, ebenso wie ein Polarisationsstrom bei metallischen Elektroden; in beiden Fällen ist darum auch die Bezeichnung „Übergangswiderstand“ gebraucht worden.

Grenzen verschiedenartige oder verschieden konzentrierte Elektrolyten direkt ohne trennende „Membran“, z. B. durch Überschichtung aneinander, so dass auch bei ruhigem Stehen nach langer Zeit Mischung durch Diffusion erfolgen würde, so wird diese durch den elektrischen Strom, d. h. die Ionenwanderung, natürlich beeinflusst, aber insofern dieser kein wesentlicher Reibungswiderstand sich entgegensetzt, kommt ein nach dem Prinzip der Konzentrationskette (s. unten) zu deutender Gegenstrom resp. Übergangswiderstand auch nur spurweise²⁾ zur Beobachtung, es sei denn, dass durch primäre oder sekundäre Reaktion an der Grenzschicht eine wirkliche Niederschlagsmembran gebildet wurde, was natürlich auch vorkommen kann.

50. Konzentrationskette.

Zwischen zwei zunächst gleichartig zu denkenden, aber verschiedenen konzentrierten Elektrolyten entsteht an der Berührungsstelle eine Potentialdifferenz, welche sich bei Eintauchen gleichartiger (also polarisationsfreier) Metallelektroden in den Schliessungsbogen zwischen diesen als Strom abgleicht: „Konzentrationskette“, Helmholtz 1877.

¹⁾ Ztschr. f. physikal. Ch., Bd. 6, S. 71, 1890.

²⁾ Siehe Hermanns Messungen der „Polarisation zwischen Elektrolyten“ in „Nachr. d. Gött. Gesellschaft d. Wiss.“ 1887, S. 326 und 515.

Bei der Berechnung der elektromotorischen Kraft einer Konzentrationskette kann sich das oben betonte „Kontaktpotential“ zwischen den verschiedenen konzentrierten Elektrolyten unter Umständen als geringfügig gegen die „Elektrodenpotentiale“ erweisen; doch wird die Gesamt-EMK stets dem Logarithmus des umgekehrten Konzentrationsverhältnisses $\log \frac{C_2}{C_1}$ proportional sich erweisen, wie die hier nicht wiederzugebende Ableitung zeigt, welche von der Theorie des osmotischen Druckes ausgeht; denn es wird, wie dies schon oben bei der Besprechung von Nernsts Theorie der galvanischen Kette ausgeführt wurde, angenommen, dass z. B. bei einem Zinkstück in verdünnter Zinksulfatlösung ein Bestreben der Zinkteilchen sich als Ionen zu lösen, elektrolytische „Lösungstension“ oder „Lösungsdruck“ – vorhanden sein kann, welcher grösser ist, als der os-

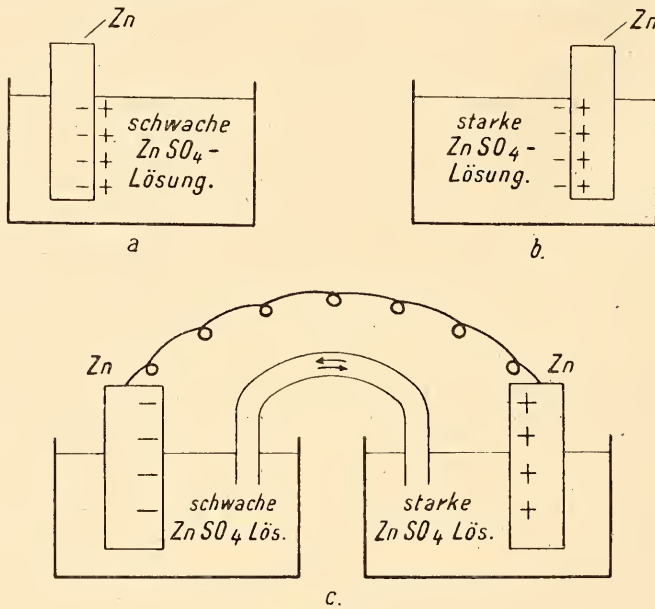


Fig. 55.

motische Druck der in der Lösung befindlichen Zinkionen; oder es können beide Drucke sich das Gleichgewicht halten, oder endlich es kann bei einem Zinkstück in stark konzentrierter Zinksulfatlösung der osmotische Druck grösser sein als der Lösungsdruck und das Bestreben der Zinkionen herrschen, sich als metallisches Zink auf dem Zink niederzuschlagen; im letzteren Falle geben sie, wie wir wissen (als Anionen oder positiv geladene Ionen) positive Elektrizität an das Zink ab, wobei die nächstliegende Flüssigkeitsschicht negativ wird: Eine solche „elektrische Doppelschicht“ (Helmholtz) entsteht im umgekehrten Sinne auch im erstgenannten Fall: Negativladung des Metalls, Positivladung der angrenzenden Flüssigkeitsschicht (Fig. 55a und b). Verbindet man die beiden Lösungen etwa durch ein Heberrohr und die Platten durch den Draht (Fig. 55c), so findet Ausgleich der Elektrizitäten (wie des Ionenüberschusses resp. der Konzentration) durch die Flüssigkeit, resp. durch den Schliessungsbogen statt.

Eine solche Konzentrationskette lässt sich auch bilden zwischen zwei Flüssigkeiten von verschiedener Reaktion, welche letztere

bekanntlich durch den Überschuss entweder an freien Wasserstoff- ($\overset{+}{\text{H}}$) Ionen — saure Reaktion — oder an freien Hydroxyl- ($\overset{-}{\text{OH}}$ -) Ionen (alkalische Reaktion) gegeben ist — gleiche Konzentration der H- und OH-Ionen entspricht neutraler Reaktion! Es müssen zur Sicherung der Unpolarisierbarkeit mit Wasserstoff resp. Sauerstoff gesättigte platinierete Platin- oder noch besser Palladiumelektroden genommen werden: sog. „Gaskette.“

51. Anwendungen der Konzentrationskette.

Man hat so die Reaktion tierischer Flüssigkeiten und Sekrete — Blutalkaleszenz, Harnazidität — unabhängig von den Tücken der fertigen „Indikatoren“ bestimmt, welche immer einen unrichtigen Neutralitätspunkt, oder auch keine bestimmte („amphotere“) Reaktion anzeigen, indem man zwischen die Wasserstoffelektroden einerseits eine Säure von bekanntem Gehalt (etwa $\frac{1}{10}$ Normalsalzsäure) andererseits die zu prüfende Flüssigkeit bringt, miteinander kommunizieren lässt und nun die elektromotorische Kraft dieser Konzentrationskette misst (durch Vergleichung mit einer bekannten elektromotorischen Kraft, — Normalelement); hieraus berechnet sich dann die Konzentrationsdifferenz der Wasserstoffionen; ein gleiches gilt für diejenige der Hydroxylionen, in welchem Falle natürlich eine Lauge von bekanntem Gehalt genommen wird. Dass auch hier Wasserstoff- statt Sauerstoff-Elektroden genommen werden können und sogar richtigere Werte liefern, darüber vergleiche die Arbeiten von Höber¹⁾, welcher diese Methodik der Blutalkaleszenzbestimmung zuerst angewendet hat; nach ihm P. Fränckel. Die Harnaziditätsbestimmungen sind von Auerbach und Friedenthal²⁾ und anderen ausgeführt.

Die Bestimmung der elektromotorischen Kraft erfolgt natürlich nach der Poggendorffschen Kompensationsmethode (s. S. 51); als „Nullinstrument“ dient Galvanometer oder Kapillarelektrometer. Auch hier finden sich detaillierte Arbeitsvorschriften in Hamburgers Werk, Bd. I, S. 509 ff., Bd. II, S. 334 ff.

Von grundlegender Bedeutung für die gesamte Elektrophysiologie ist aber nur eine etwas allgemeinere Betrachtung der Konzentrationsketten unabhängig von metallischen Elektroden: „Flüssigkeitsketten“. Wenn sich zwei gleich- oder ungleichartige, gleich- oder verschieden konzentrierte Elektrolyte berühren, so wird stets dann eine Potentialdifferenz an der Berührungsfläche auftreten, wenn in der Zeiteinheit mehr Kationen in der einen Richtung, als Anionen in der anderen hinüber gehen oder umgekehrt. Ist die Zahl gleich, so wird, da

1) Pflügers Arch. f. d. ges. Physiologie, Bd. 81, S. 522.

2) Engelmanns Archiv f. Physiologie 1903.

sie mit gleich grossen entgegengesetzten Elektrizitätsmengen geladen sind, die algebraische Summe der Ionenladung gleich Null werden, somit keine Potentialdifferenz stattfinden. Dies kann z. B. der Fall sein bei Berührung verschieden konzentrierter Lösungen desselben Elektrolyten, dessen beide Ionen annähernd gleiche Wandungsgeschwindigkeit haben, so von Chlorkalium (die Verhältniszahlen sind für $\overset{+}{K} = 65,3$ und $\bar{Cl} = 65,9$); wandern und diffundieren daher die Anionen schneller als die Kationen (Lauge), so wird eine verdünntere Lösung negativ gegen eine konzentriertere; diffundieren umgekehrt die Kationen schneller (Säuren), so wird die konzentrierte Lösung negativ gegen die verdünntere. Handelt es sich um zwei verschiedene Elektrolyten, so wird alles von der relativen Konzentration und Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen abhängen; es muss also Richtung und Grösse der Potentialdifferenz für jeden Fall sich besonders ergeben. Dazu kommt noch, dass man im allgemeinen nicht mit der Gaskette arbeiten, auch nicht in jedem der beiden Elektrolyten eine darin unpolarisierbare Metallelektrode direkt einbringen kann (da käme ja die viel grössere Kontaktpotentialdifferenz zwischen den beiden Metallen und der dadurch entstehende Strom dazu!), sondern von den beiden Gliedern der Konzentrationskette durch unter sich gleichartige und unpolarisierbare Kombinationen mit besonderer „Elektrodenflüssigkeit“ ableiten muss — strenge Grundregel für die Untersuchung, insbesondere aller bioelektrischen Erscheinungen!! — man erhält somit drei Kontaktstellen zwischen insgesamt vier Elektrolyten, deren drei Potentialdifferenzen sich algebraisch summieren z. B. $0,001 \text{ norm. KCl } 0,01 \text{ HCl } 0,01 \text{ KOH } 0,001 \text{ KCl} = + 0,022 \text{ Volt}^1$). Noch verwickelter wird das Gesamtbild, wenn die Berührung zwischen zwei Elektrolyten nicht unmittelbar, sondern durch Vermittlung einer Diffusionsmembran stattfindet. Handelt es sich um eine Membran, welche in dem oben erörterten Sinne semipermeabel, und zwar etwa nur für eine bestimmte Ionenart durchgängig ist, so wird ohne Schluss der Kette durch den metallischen Schliessungsbogen theoretisch gar keine Ionenwanderung stattfinden können, weil die Ionen, welche durch die Membran können, durch die entgegengesetzt geladenen, welche dies nicht können, festgehalten werden: „Konstanz“ der Ferrocyankaliumgelatine-Kupfersulfatgelatineketten im offenen Zustande (Oker-Blom); wogegen die Kraft der membranlosen Konzentrationsketten auch ohne Schliessung ständig abnimmt, durch die ungehinderte Diffusion.

Natürlich muss jede Veränderung der Konzentration auf der einen Seite einer Membran, welche zwischen zwei Elektrolyten eingeschaltet ist, wenn zuvor schon eine Potentialdifferenz vorhanden war, dieselbe ver-

1) Zugleich ein Beispiel der altbekannten „Säure-Alkali-Kette“.

ändern, wenn keine vorhanden war, eine solche erzeugen, und diese wird, speziell ohne Schliessungsbogen um so grössere Konstanz zeigen, je strenger ausschliesslich für die Ionenart, deren Konzentration auf beiden Seiten differiert, die Membran permeabel ist.

Grössenordnung, relative Konstanz und sonstige Eigenschaften der an den lebenden Gebilden zu beobachtenden elektrischen Potentialdifferenzen haben nun in neuester Zeit immer gebieterischer dazu geführt, die physikalische Erklärung dieser letzteren im Prinzip der Konzentrationskette zu suchen. Ihre physiologische Ursache dagegen hängt innig mit der neuerdings so vielfach unterschätzten Bedeutung dieser Erscheinungen für die gesamte Physiologie und Pathologie der erregbaren Gebilde zusammen. Zur besseren Erkenntnis dieser Zusammenhänge beginnen wir darum in folgendem mit einer kurzen Besprechung der bioelektrischen Erscheinungen selbst.

Vierter Abschnitt.

Die bioelektrischen Erscheinungen.

52. Allgemeines. Alterationstheorie. „Ruheströme“.

Wie man heutzutage weiss, sind elektrische Spannungen oder Potentialdifferenzen zwischen verschiedenen Punkten der Oberfläche lebender Organismen, und zwar tierischer — von der Eizelle bis zum Menschen — wie auch pflanzlicher, sehr weit verbreitet, wenngleich sie sonst nicht die auffälligen hohen Werte erreichen, wie bei den elektrischen Fischen, wo sie willkürlich und reflektorisch hergestellt werden können, beim Ausgleich durch andere Organismen hindurch als Ströme lebhaft physiologische Wirkungen auf letztere ausüben und so als Waffe dienen. Von den einzelnen Organen und Geweben des Tierkörpers sind es vor allem die erregbaren und kontraktile Gebilde, welche elektrische Spannungen aufweisen, also die Nerven und Muskeln, ferner aber die Drüsen und endlich zahlreiche andere, besonders epitheliale Bildungen.

Als allgemeine Charakteristik für das räumliche und zeitliche Auftreten dieser Spannungen kann kurz zusammenfassend gesagt werden: Zwischen zwei abgeleiteten Oberflächenstellen lebendiger Substanz zeigt sich stets dann eine Potentialdifferenz, wenn die chemischen Vorgänge an denselben, resp. in einem gewissen Bereich ihrer Umgebung nach Art (Überwiegen von Zersetzungs- oder synthetischen Prozessen) und Stärke verschieden sind, und zwar in dem Sinne, dass der Punkt, in dessen Bereich die Zersetzungsprozesse überwiegen oder stärker sind, als an dem anderen Punkte, sich verhält wie das Zink im galvanischen Element zum Kupfer: d. h. legt man einen äusseren Schliessungs-

bogen, etwa mit einem stromanzeigenden Apparat an, so fließt in diesem ein Strom von der „dissimilatorisch aktiveren“ Gewebsstelle zu der weniger aktiven; erstere ist „negativ“, im Sinne des Zinkpols am galvanischen Element, wofür besser allgemein eingeführt werden sollte „elektro-positiv“ zu der „weniger aktiven“ Gewebsstelle, wie das Zink ja die positive Elektrode oder „Anode“ bei der Kontakt- oder elektrolytischen Betrachtung der Kette ist (S. 14).

Diese sog. „Alterationstheorie“ der bioelektrischen Erscheinungen (L. Hermann, Ewald Hering) ist eine präzise Fassung der Tatsachen in bezug auf die räumliche Anordnung der Potentialdifferenzen; was ihr zeitliches Verhalten betrifft, so kann man wohl unterscheiden zwischen lange andauernden und vorübergehend auftretenden: da die letzteren mehr oder weniger augenfällig an rasch ablaufende Lebensphänomene, sog. Erregungserscheinungen oder Reizerfolge, sich knüpfen, die ersteren meist (wenigstens anscheinend) nicht, so hat man von diesen (resp. den durch ihren Ausgleich im Schliessungsbogen entstehenden Strömen) als von „Ruheströmen“ gesprochen: solche Ruheströme verlaufen, ohne anderen Eingriff, als die eventl. notwendige Präparation nachweisbar, zwischen der exkretorischen und der von den Gefäßen versorgten Oberfläche von Drüsenepithelien (meist von der ersteren zur letzteren im Epithel verlaufend, so dass die letztere, wo die Zufuhr und Verarbeitung sekretbildenden Materials stattfindet, negativ wird: „einsteigender Drüsenstrom“), von Schleimhäuten; ferner zwischen den beiden Flächen (der Horngebilde, Kutikula usw. abstossenden äusseren und der „ernährten“ inneren Fläche) von Oberhautgebilden (hier meist umgekehrt wie oben „aussteigend“), an Neuroepithelien (Netzhaut bezw. Augapfel).

Im unversehrten Zustande „stromlos“ sind dagegen die spezifisch reizbaren Gebilde Nerv und Muskel (L. Hermann), an denen eine Potentialdifferenz in dem soeben angegebenen allgemeinen Sinne erst dann eintritt, wenn irgendwo eine „Verletzung“ (Schädigung) stattfindet, indem dann die geschädigte Stelle „negativ“ wird zu jeder unverletzten Oberflächenstelle.

Der zwischen diesen beiden abgeleitete Strom kann von stundenlanger „Konstanz“ sein, nimmt aber schliesslich ab, um zu verschwinden, wenn das geschädigte völlig abgestorben ist: es verhält sich nicht „totes“ Protoplasma „negativ“ zu „lebendem“, sondern „absterbendes“ zu „normalem“: setzt man neben dem toten ans lebendige eine neue Verletzung, so tritt die Spannung aufs neue auf, deren Sitz (Sitz der EMK) also die Grenzfläche zwischen „absterbendem“ und „normalem“ ist, daher die von Hermann eingeführte Bezeichnung „Demarkationsstrom“. Die auffälligste und frühestuntersuchte Erscheinungsweise desselben (Matteucci, du Bois-Reymond) ist diejenige zwischen der unversehrten Oberfläche von Muskel- und Nervenfasern oder -Bündeln, resp. ganzen Muskeln und

Nerven, sowie deren künstlichem Querschnitt: „Längsquerschnittstrom“, „ruhender Muskel- und Nervenstrom“ du Bois-Reymonds.

Untersucht man genauer das Verhalten eines von zwei Querschnitten begrenzten parallelfaserigen Muskelstückes („Muskelzylinder“), so ergibt sich auf dessen Oberfläche eine derartige Verteilung der Spannungen, dass jeder von dem mittleren (von beiden Querschnitten gleich weit entfernten) Umfange oder sog. „Äquator“ (ÄÄ, Fig. 56) weiter entfernte Punkt „negativ“ ist gegen jeden dem Äquator näheren „Längs-

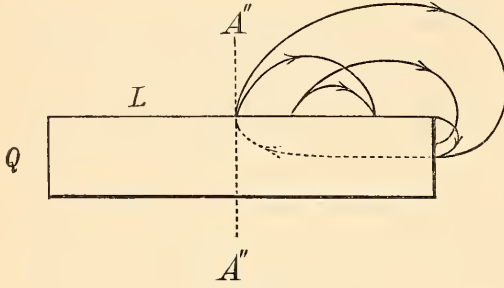


Fig. 56.

schnittspunkt“, aber weniger stark als ein auf dem Querschnitt gelegener Punkt (— „schwache Längsschnittströme“ —). Dasselbe gilt für den Nerven. Bei genügend dicken Muskelstücken lässt sich ferner erkennen, dass jeder von der Achse entferntere Querschnittspunkt negativ ist gegen einen dieser näheren, bzw. in ihr selbst liegenden Querschnittspunkt. Wird der Querschnitt schräg zur Faserrichtung eines Muskels ange-

gelegt, so erfolgt eine Verschiebung der Orte stärksten Potentialunterschiedes nach den stumpfen Schnittekanten zu: die infolgedessen hier zu erhaltenden, besonders kräftigen Ströme („Neigungsströme“) werden auf eine säulenartige Hintereinanderschaltung der von den einzelnen Primitivfasern gelieferten Ströme zurückgeführt. Zwischen zwei Längsschnittpunkten eines Muskelzylinders, welche vom Äquator gleich weit entfernt sind, sowie zwischen den beiden Querschnitten eines solchen besteht keine Potentialdifferenz. Auf den sog. „Axialstrom“ des Nerven kann hier nicht eingegangen werden.

53. Aktionsströme.

Bei der Tätigkeit der Muskeln und Nerven wird jede jeweiligen tätige (in den Kontraktionszustand eintretende, resp. von der „Erregungswelle“ erfasste) Stelle „negativ“ zu ihrer ruhenden (nicht oder weniger intensiv tätigen) Umgebung.

Im gleichen Sinne verändert sich auch das Potential der absondernden Fläche von Drüsenepithelien gegenüber der Gefäßseite:

Die durch Verbindung einer tätigen und einer ruhenden (oder minder tätigen) Gewebestelle, als Ausgleich der „Aktionsspannung“ erhaltenen Ströme werden als „Aktionsströme“ der Muskeln und Nerven, resp. „Sekretionsströme“ der Drüsenepithelien bezeichnet, sie sind dem Charakter des Tätigkeitszustandes entsprechend mehr weniger schnell vorübergehend (Nerv, Muskel) oder von längerer Dauer (Drüse).

54. Grössenordnung.

Die Grössenordnung der „Alterationspotentiale“, gemessen als EMK der Demarkations- resp. Ruhe-, Aktions- und Sekretionsströme liegt zwischen 0,02 und 0,08 Volt, ist also im Vergleich zu den Spannungen hydro- und magnetelektrischer Stromquellen, der atmo-

sphärischen Elektrizitätsausgleiche usw. recht geringfügig. Erst recht gilt dies für die Intensität der „bioelektrischen Ströme“, da ja nach dem Ohmschen Gesetz $i = \frac{V}{w}$ und w , der Widerstand speziell der lebendigen Gebilde selbst ein im allgemeinen ausserordentlich hoher, nach Hunderten und Tausenden Ohm zählender ist; es kommen somit Zehntausendstel bis Milliontel Ampère für i heraus.

Dementsprechend sind nur die empfindlichsten Strom- und Spannungszeiger für bioelektrische Beobachtungen zu brauchen, auf deren eigenen Widerstand nicht so sehr viel ankommt, da ja der „innere Widerstand“ der lebendigen Elektrizitätsquelle so sehr hoch ist (vergl. S. 22). Man verwendet dementsprechend ausschliesslich Instrumente mit Spiegelablesung (S. 44), entweder astatische Galvanometer mit sehr vielen Windungen feinen Drahtes — Hermann-Wiedemannsche Bussole, Thomson-Galvanometer — oder Drehspul- (sog. d'Arsonval-) Galvanometer mit sehr leichter feindrätiger windungsreicher Spule — hochempfindliche

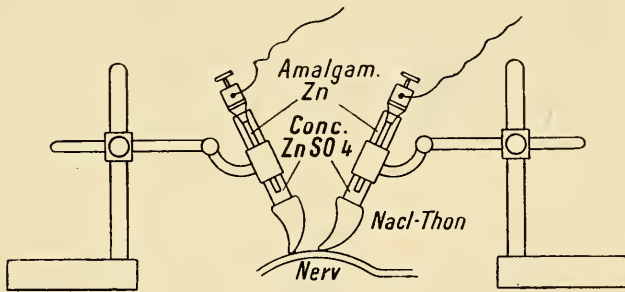


Fig. 57.

Drehspulgalvanometer von Edelmann oder von Siemens & Halske —; als Spannungszeiger ist das Kapillarelektrometer (S. 52) vorzüglich brauchbar, besonders für die gleich zu erwähnende Registrierung des zeitlichen Verlaufs der Erscheinungen.

Da die Substanz und somit die natürliche äussere Begrenzung der lebenden Elektrizitätsquelle aus Elektrolyten besteht, dürfen zur „Ableitung“ zu den Messinstrumenten nicht direkt Metallelektroden angelegt werden, bei denen Gleichartigkeit nur sehr schwer zu erreichen und Polarisation unvermeidlich wäre; es gehören dazu gleichartige und unpolarisierbare Elektroden im Sinne der im vorigen Kapitel auseinandergesetzten Kombinationen, die aber wieder, da deren Elektrolyt meistens die leitenden Gebilde schädigen würde, nur durch Vermittelung einer indifferenten Flüssigkeit — „isotonische“ Kochsalzlösung — die ersten berühren dürfen. Für die bioelektrischen Beobachtungen unübertroffen bleibt die Regnaud-du Bois-Reymondsche Kombination: amalgamiertes Zink in konzentrierter Zinksulfatlösung, mit Zwischenschaltung von mit isotonischer Kochsalzlösung angeknetetem plastischen Ton: Fig. 57 gibt solche Elektroden in der fast immer anwendbaren Röhrenform mit Tonspitzen („Tonstiefel“) wieder, statt letzterer können auch von dem Tonklumpen ausgehende Haarpinsel, Baumwollfäden u. a., getränkt mit der isotonischen Lösung zur Berührung der Oberfläche der leitenden Gebilde dienen.

Für Spannungsmessungen bei Benetzung mit anderen Flüssigkeiten (s. unten) sind neuerdings auch die von den physikalischen Chemikern gewöhnlich gebrauchten Ostwaldschen Quecksilber-Kalomel-Normalelektroden angewendet worden; weniger zu empfehlen sind d'Arsonvals Elektroden: Silberstäbchen, an dem Ende mit einer Schicht geschmolzenen Chlorsilbers überzogen, den lebenden Teilen durch Vermittelung verdünnter Kochsalzlösung anliegend.

Ausserordentlich zu hüten hat man sich bei bioelektrischen Untersuchungen vor allen Fehlerquellen, welche in Stromschleifenbildung, unipolaren Abgleichungen, überhaupt Isolationsmängeln liegen und natürlich bei so kleinen zu beobachtenden und messenden Werten um so heimtückischer sind.

55. Erscheinungsweise und zeitlicher Ablauf der Aktionsströme.

Speziell die „Aktionsströme“ der Muskeln und Nerven sind von sehr kurzer Dauer (bis zu wenigen tausendstel Sekunden herab) und pflanzen sich wellengleich, als Ausdruck der sog. Erregungswelle, „Leitung der Erregung“, längs der Fasern dieser

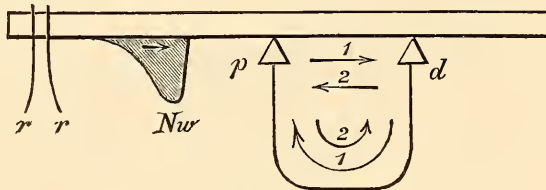


Fig. 58.

Organe fort mit zum Teil recht beträchtlichen Geschwindigkeiten (30 m und darüber — die Dauer im allgemeinen um so kleiner und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit um so grösser, je feiner ausgebildet das Organ und je höher das Tier in der Tierreihe steht), so dass ihre genauere Kenntnis erst durch besondere technische Hilfsmittel möglich wurde.

Die zuerst entdeckte Gestalt der Aktionsströme des Muskels und Nerven besteht in einer Abnahme der elektromotorischen Kraft des zwischen Längs- und Querschnitt abzuleitenden Stromes, welche dann erfolgt, wenn der Muskel resp. Nerv dadurch in Tätigkeit versetzt wird, dass ausserhalb der abgeleiteten Strecke ihm tetanisierende Stromstösse (z. B. die Wechselströme eines Schlitteninduktoriums mit automatischem Unterbrecher, einer magnetelektrischen Maschine o. ä.) in rascher Folge zugeleitet werden: diese Kraftabnahme, deren Grösse einerseits von derjenigen des Längsquerschnittsstromes, andererseits von der Stärke des zugeführten Reizes abhängig ist, wird die „negative Schwankung“¹⁾ des Muskel- oder Nervenstromes genannt und ist wirklich Ausdruck der Tätigkeit des Organs, denn sie tritt beim Muskel auch auf, wenn er indirekt, d. h. von seinem motorischen Nerven aus gereizt wird, sowie sie an beiden Objekten bei nicht-elektrischer, insbesondere auch bei adäquater Reizung: Strychninkrampf, Schnitt, mechanische Tetanisation, chemische Reizung nachweisbar ist. Sie, wie überhaupt die Aktionsströme,

¹⁾ Negativ im Sinne einer Verminderung, nicht im Sinne „negativer Elektrizität“!!

ist untrennbar von dem wirklichen Funktionieren der Organe, und alle Angaben über „Aktionsströme ohne Aktion“ oder umgekehrt haben sich bei erster Nachprüfung als hinfällig erwiesen.

Bei „stromloser Ableitung“ (s. oben) resp. Ableitung von unversehrten Muskeln und Nerven zu gewöhnlichen Galvanometern ist bei der Tätigkeit entweder ein schwacher, im Objekt von der Reizstelle weg gerichteter („terminaler“, Hermann) Strom oder gar nichts zu erkennen: es rührt dies daher, dass auf jeden Reiz hin in rascher Folge erst die der Reizstelle rr nähere (proximale) Elektrode p (Figur 58), dann die von der Reizstelle entfernte Elektrode d in den Zustand der „Aktionsnegativität“ gelangt, während inzwischen dieselbe an der näheren Elektrode wieder verschwindet: Das „negative“ Aktionspotential p pflanzt sich mit der Erregung wellenförmig vom Orte der Reizstelle weg fort („Negativitätswelle“) und das Resultat bei Ableitung von p und d muss ein Strom mit Wechsel des Vorzeichens sein — erst ist p „negativ“ gegen d, dann umgekehrt d „negativ“ gegen p —, also ein sehr rasch ablaufender Wechselstrom; auf eine Serie von Reizen hin eine entsprechende Reihe von Wechselströmen, welche ein Galvanometer beinahe nicht zu bewegen vermögen, wenn ihre „Zeitintegrale“ nach beiden Richtungen gleich sind; erhält man bei stromloser Ableitung zum Galvanometer eine „negative“ Ablenkung während der Dauer der Tetanisation, so muss dies davon herrühren, dass die „Negativität“ bei d schwächer anlangt, als sie es bei p gewesen ist, indem die Erregungswelle bei ihrem Ablauf im Muskel oder Nerven an Grösse abnimmt, ein Dekrement erfährt („dekrementieller Aktionsstrom“, Hermann).

Die Darstellung solcher einzelner „phasischer“ Aktionsströme gelang mit dem Galvanometer s. Zt. nur durch Einführung eines „stroboskopischen“ Kunstgriffes mittelst verschiebbarer Kontakte (vergl. S. 36) — Repetitionsmethode, Differentialrheotom von Bernstein, 1867 —, worauf hier nicht näher eingegangen werden kann. Heutzutage lassen sie sich direkt beobachten durch photographische Registrierung der Bewegungen des Kapillarelektrometers, neustens auch des äusserst schnell reagierenden Saitengalvanometers von Einthoven¹⁾.

Der einfachste, historisch ursprünglichere, bei jeder Untersuchung wo irgend möglich zunächst vorzuziehende Fall ist auch hierbei derjenige, dass die der Reizstelle nähere Ableitungselektrode der unversehrten Oberfläche, die entferntere aber einem künstlichen Querschnitt anliegt, also der absterbenden, besser gesagt, schon abgestorbenen Substanz (jenseits der „Demarkationsfläche“), welche an der Erregung nicht mehr teilnimmt (die Erregungswelle „erlischt“ am Querschnitt), daher auch kein „negatives“ „Aktionspotential“ bekommen kann: es wird daher auf jeden Einzelreiz hin immer nur die der Reizstelle nähere, im normalen liegende Ableitungsstelle während des Passierens der Erregungswelle auf kurze Zeit „negativ“ gegen die Querschnittsableitungsstelle: da jene aber dauernd negativ ist gegen erstere (durch das Absterben, „Alterationspotential“), so kommt auf jeden Einzelreiz hin eine kurz dauernde Verminderung²⁾ des Längsquerchnittsstroms zur Erscheinung, die „negative Einzelschwankung“ oder der „einphasische Aktionsstrom“, welcher ein sehr leichtes Galvanometergehänge bereits abzulenken vermag; erst recht ist dies bei einer Reizfolge der Fall, wo sich die Einzelschwankungen in ihrer ablenkenden Wir-

1) Annalen der Physik 1903, Bd. 12, S. 1059 1904, Bd. 14, S. 182.

2) In diesem Sinne das „negative Schwanken“! (s. oben S. 72).

kung (mechanisch, wie die Züge beim Glockenläuten) summieren zur „negativen Gesamtschwankung“ (integrale, tetanische N. S.).

Die Kurve des zeitlichen Verlaufes der „Einzelschwankung“ lässt erkennen (Fig. 59), dass die Zeit zwischen dem Reizmoment und ihrem Beginn der Wegstrecke zwischen Reizstelle und nächstliegender Ableitungselektrode proportional ist. Die „Negativität“ hat kein Latenzstadium; der Quotient $\frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}}$, meist genauer nach dem Differenzverfahren (Ableitung das eine Mal von einer der Reizstelle näheren, das andere Mal von einer von ihr entfernteren Längsschnittsstelle) zu ermitteln, ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der „Negativitätswelle“ = der (myographisch oder durch die Reaktions- oder Reflexzeit gleichfalls nach dem Differenzverfahren bestimmten) „Leitungsgeschwindigkeit“ beim Nerven = der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Kontraktionswelle beim Muskel. Die „Negativitätswelle“ ist also der elektrische Ausdruck der „Erregungswelle“.

Die Kurve lässt ferner einen sehr steil „ansteigenden“ und einen viel weniger steil „abfallenden“ Schenkel erkennen¹⁾. Die Potentialänderung, als Ausdruck der Aktions-Alteration, des mit dem Erregtwerden verbundenen

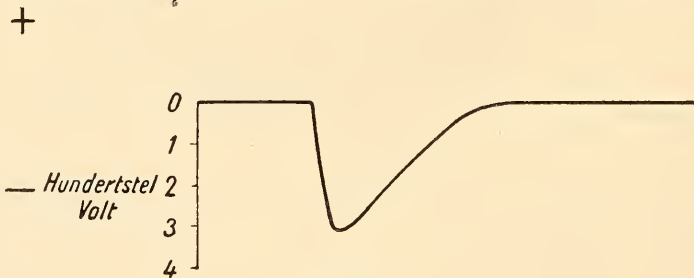


Fig. 59.

„chemischen Geschehens“ = Dissimilation (Hering), erfolgt sehr plötzlich, während der Rückgang zur Äquipotentialität, als Ausdruck des Abklingens der Erregung (Abnahme der Dissimilationsvorgänge und Eintritt des Gleichgewichts mit der Assimilation) viel allmählicher statthat.

Beim Muskel fällt der Beginn der Negativität, gewöhnlich auch noch die Erreichung des Maximums, für jede Stelle noch in das Latenzstadium der Kontraktion. Die „Negativitätswelle“ läuft der Kontraktionswelle voran. Doch ist nicht daran festzuhalten, dass, wie Bernstein wollte, jedes Muskelement schon über das Maximum der Negativität hinaus sein muss, ehe es in die Kontraktion eintritt.

Die absoluten Werte für die Zeitdauer der ganzen Einzelschwankung oder die Länge der Negativitätswelle (= Zeitdauer und Fortpflanzungsgeschwindigkeit, in Längenmass!), sowie für den aufsteigenden und absteigenden Schenkel sind je nach dem Objekte und den physiologischen Bedingungen sehr verschieden: Zunahme etwa in der Reihenfolge: markhaltiger Nerv, quergestreifter Muskel, markloser Nerv, Herzmuskel, glatter Muskel, ganz abgesehen noch von der Tierart; vergl. oben.

Ermüdung, Narkose, Degeneration verlängern ganz besonders die Dauer des absteigenden Schenkels (Restitutionsprozesse), doch auch, besonders wenn stärker ausgesprochen, des aufsteigenden Schenkels.

¹⁾ In Figur 59-60 liegt das negative Maximum nach unten; das „Aufsteigen“ und „Abfallen“ ist also umgekehrt zu verstehen.

Abkühlung zieht den ganzen Verlauf in Länge, Erwärmung beschleunigt ihn; beides gilt immer nur für die physikalisch oder chemisch beeinflusste Strecke, nicht für weitere normal gebliebene Strecken (Lokalisationsgesetz).

Von der Dauer resp. Wellenlänge, insbesondere der Dauer des absteigenden Teiles hängt natürlich auch die Erscheinungsweise in dem oben besprochenen Falle ab, wo von zwei unversehrten (Längsschnitts-)Punkten abgeleitet wird: nur wenn die Distanz zwischen diesen nicht grösser ist als die Länge der Negativitätswelle, werden die beiden „Phasen“ des zweiphasischen Aktionsstromes völlig getrennt zur Anschauung kommen: Fig. 60a; andernfalls wird die Negativität in p (Fig. 58) noch nicht abgelaufen sein, wenn sie in d bereits gleichfalls eintritt, und sie wird darum in d nicht zu ebenso grossen Ablenkungen führen können, wie in p; scheinbare

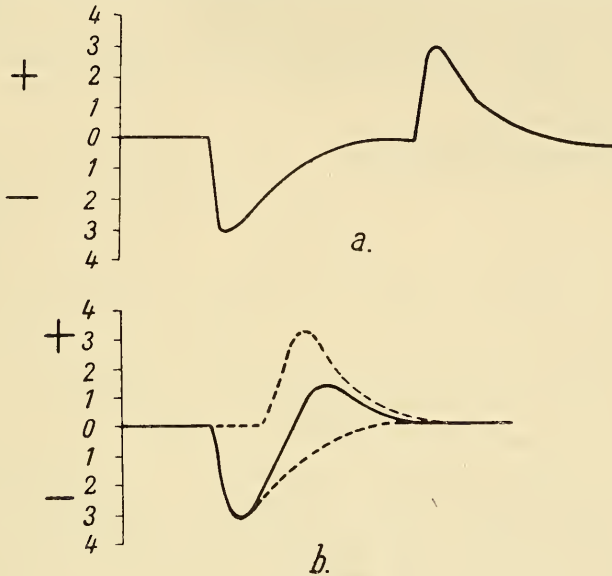


Fig. 60.

Verkleinerung der zweiten Phase durch „Superposition“ (Hermann), siehe Figur 60b, wo beide Phasen getrennt für sich punktiert, der zweiphasische (superponierte) Aktionsstrom ausgezogen dargestellt ist. Noch mehr wird die zweite Phase verkleinert erscheinen, wenn gleichzeitig ein „Dekrement“ der Erregung statt hat, die Negativität an sich also in d schwächer anlegt, als in p.

Als Beispiele der Grössenordnung für die Zeitdauer der „Negativität“ an einem Punkte seien gegeben für den quergestreiften Muskel (Froschsartorius) 0,06 sec. und mehr, davon 0,005 für die Zunahme bis zum Maximum („ansteigender“ Schenkel); für den Nerven (Froschischia-dikus) 0,007 sec. und mehr resp. 0,001 sec.

Die Registrierung der Aktionsstromskurven ist zum wichtigen Rüstzeug der physiologischen Methodik in vielen Fällen geworden, so beim Herzen, wo sie, entsprechend dem Kontraktionsvorgange des Myokards, einen besonders langsamen Ablauf, die Erregung in sehr geringer Fortpflanzungsgeschwindigkeit zeigt, und beim Nerven,

wo andere direkte Tätigkeitsäusserungen, abgesehen von den Erfolgsorganen, nicht in nachweisbarem oder brauchbarem Masse vorhanden sind.

Die elektrischen Organe der Zitterfische sind modifizierte Muskeln, bei welchen die Muskelfaser in die Breite statt in die Länge entwickelt und mit einer ausserordentlich verzweigten, die ganze eine Seite bedeckenden Nervenendigung versehen ist, während die andere Seite eine Gallertschicht trägt: eine solche „elektrische Platte“ gibt auf direkten Nerven- oder Reflexreiz hin eine an Zeitdauer und EMK einem einphasischen Nervenaktionsstrom entsprechende „Entladung“; durch die säulenartige Anordnung der Platten schalten sich die elektromotorischen Kräfte hintereinander, so dass Summen bis über 100 Volt (Malapterurus, nach Gotch und Burch) entstehen können, vergl. oben. Eingehen auf Näheres, so die Rhythmik (Selbstreizung) des Organs, so dass „Schlagserien“ entstehen usw., würde hier zu weit führen.

Auch Pflanzenteile, vor allem grüne Blätter, speziell bei den sog. reizbaren Pflanzen, zeigen auf mechanische oder elektrische Lokal-„Reize“ aktionsstromartige, langsam sich fortpflanzende Potentialänderungen (Burdon Sanderson u. a.).

56. Lokale Aktionsströme.

Abgesehen von der wellenförmigen Fortpflanzung der „Aktionsströme“ muss natürlich auch die von dem Reiz direkt getroffene Stelle Sitz einer Potentialänderung werden, welche auch nach dem Reiz noch fortdauern, beziehungsweise eventuell erst nach dessen Einwirkung sich entwickeln kann; solche „Nachströme“ („sekundär-elektromotorische Erscheinungen“ von E. du Bois-Reymond) sind früher vielfach mit einfachen Polarisierungseffekten des Stromes bei elektrischer Reizung resp. Durchströmung identifiziert worden: doch müssen einerseits solche bei Anwendung niedriger Spannungen und unpolarisierbarer Elektroden fehlen, andererseits treten die „lokalen Nachströme“ auch nach nichtelektrischer Reizung auf, und zwar an pflanzlichen und tierischen Teilen, vielfach in so bedeutender Stärke, längerer Dauer und Unabhängigkeit von der Durchströmungsrichtung bei elektrischen Reizen, dass ihre Natur als „lokale Aktionsströme“ nicht in Zweifel gezogen werden kann. Ferner fallen nach Abtötung des betreffenden Gewebes durch Hitze, Gifte usw. diese (von A. D. Waller als „Flammströme“, englisch „blaze currents“ bezeichneten) Wirkungen fort, so dass sie von demselben Autor geradezu als „Kennzeichen des Lebens“¹⁾ bezeichnet werden, während die etwaigen geringfügigen Polarisationserscheinungen bestehen bleiben.

Freilich ist die Allgemeingültigkeit dieser Angaben bestritten worden, auch scheint das Vorkommen der „Flammströme“ vor allem an epitheliale Gebilde geknüpft; auch ist bezüglich ihres Verhältnisses zum „polaren Erregungsgesetz“ (siehe den nächsten Abschnitt) längst nicht alles genügend klargestellt, doch scheint festzustehen:

¹⁾ Buch von A. D. Waller, deutsch von E., P und R. du Bois-Reymond Berlin, Hirschwald 1905.

57. Positive Nachschwankung. Elektrotonische Ströme.

Auch bei diesen lokalen Erregungsphänomenen verhält sich erregte Substanz zunächst stets „negativ“ zu ihrer unerregten Umgebung; vielleicht kann als weitere, „sekundäre“ Nachwirkung sich hinterher ein „positives“ Verhalten einstellen, was im Sinne der „Alterationstheorie“ besagen würde, dass auf die intensiven Spaltungsvorgänge eine Restitution folgt, welche sich darin äussert, dass die lokale Assimilation stärker ist als in der Umgebung. In diesem Sinne hat Hering die „positive Nachschwankung“ aufgefasst, welche beim Nerven mitunter nach Aufhören der Reizung auf die „tetanische“ negative Schwankung (s. oben) folgt; auch auf die Einzelschwankung kann solche „positive Nachschwankung“ folgen beim marklosen Riechnerv des Hechtes (Garten), darf aber beileibe niemals mit der zweiten Phase des „zweiphasischen Aktionsstromes“ verwechselt werden; die erstere tritt bei Ableitung zwischen Längsoberfläche und frischem Querschnitt, die letztere bei Ableitung zwischen

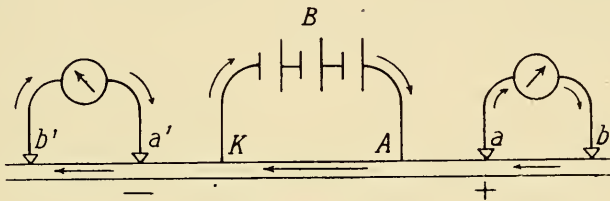


Fig. 61.

zwei Längsschnittpunkten auf. Positives Verhalten zeigt ferner die der durchströmten Strecke nähere Elektrode an einem Nerven, durch dessen Strecke A K (Figur 61) man den konstanten Strom einer Batterie B leitet und von dessen extrapolarer Strecke a b resp. a₁ b₁ zum Galvanometer abgeleitet wird. Die A benachbarte Elektrode a ist „positiv“ zu b, die K benachbarte Elektrode a₁ „negativ“ zu b₁; es fließen also in den extrapolaren Strecken Ströme, welche dem „polarisierenden“ gleichgerichtet sind; diese heissen die „elektrotonischen“ Ströme, derjenige in einer der Anode A benachbarten Strecke der „anelektrotonische“, derjenige in einer der Kathode K benachbarten Strecke der „katelektrotonische“. Der erstere ist im allgemeinen stärker als der letztere; beide nehmen, ungleich dem wellenartig sich fortpflanzenden Aktionsstrom mit zunehmender Entfernung zwischen abgeleiteter und durchströmter Strecke schnell ab und sind bei grösserem Abstände derselben nicht mehr nachweisbar.

Ihre relative Grösse, wie auch der Unterschied zwischen anelektrotonischem und katelektrotonischem Strom hängen sehr von der Art des Tieres und der Nervenfasern ab. Der Unterschied ist am geringsten beim Säugetier- (hierzu natürlich auch menschliche) Nerven, am bedeutendsten

bei den marklosen Nerven niederer Tiere, wo der katelektrotonische Strom selbst ganz fehlen kann (Muschelnerv). Auch Temperatur, Gifte (Narkotika) usw. verändern das Verhältnis A : K.

58. Erklärung der bioelektrischen Erscheinungen nach dem Prinzip der Konzentrationskette; Grenzschichttheorie.

Die sämtlichen besprochenen elektrischen Erscheinungen an lebenden Geweben können, da Metalle hier nicht vorhanden sind, prinzipiell nur als „Konzentrationsketten“-Wirkungen aufgefasst werden. Ihre relative Konstanz, sowie alle unsere Kenntnisse von der Struktur der betreffenden lebenden Gebilde nötigen zur Annahme, dass die beiden verschieden konzentrierten Elektrolyten durch eine Membran getrennt seien, welche halbdurchlässig ist in dem Sinne, dass sie nur die eine Ionenart durchlässt, die andere aber nicht, so dass diese letztere sich an ihr ansammelt (W. Ostwald 1890¹).

Als „Membran“ wird man ganz allgemein die äusseren und Grenzschichten der lebendigen Substanz der einzelnen Gewebselemente aufzufassen haben — das „Ektoplasma“, eventuelle Zellmembran- oder Scheidenbildungen, wie Sarkolemm, Nervenscheiden usw.; der Konzentrationsunterschied zu beiden Seiten desselben dürfte bei den Verletzungs- und Tätigkeitsströmen mit Sicherheit darauf zurückzuführen sein, dass eine vermehrte Spaltung („Dissimilation“) am Orte der Verletzung — „Absterben“ — resp. des Reizes — „Erregung“ auftritt, und zwar auf der einen Seite der Membran innerhalb der Gewebselemente, während auf der andern — Interzellularflüssigkeit, Elektrodenflüssigkeit (welche isosmotisch sein muss!) davon nicht die Rede ist. Erinnern wir uns nun daran, dass die im Absterben begriffene, resp. erregte Stelle stets „negativ“, resp. im Sinne des Zinks in der Hydrokette „elektropositiv“ (Anode) wird, so müssen es offenbar negativ geladene Ionen oder Anionen sein, welche durch die vermehrte Spaltung frei geworden, von innen gegen die Membran (Grenzschicht) drängen, welche für sie nicht durchlässig ist, während die gleichfalls frei gewordenen positiv geladenen Ionen oder Kationen, im Sinne des Demarkations- oder Aktionsstromes, d. h. im Gewebe von der alterierten Stelle **weg**wandernd, überall frei diffundieren können, so auch durch die Membran nach aussen in die „Hüllenflüssigkeit“ (s. unten).

Es wäre hier nun daran zu erinnern, dass beim Absterben und der Tätigkeit z. B. der Muskelfasern durch Indikatoren nachweisbare Säurebildung stattfindet. Waller²) und Verfasser dieses Buches³) haben

1) Ztschr. f. physikal. Ch., Bd. 6, S. 71; 1890.

2) Croonian Lecture, in Philosophical transactions of the Royal Society, Bd. 188, 1897.

3) Pflügers Archiv Bd. 84, S. 346; 1901.

darauf hingewiesen, dass verschiedene Veränderungen des Nervenaktionsstromes bei der Tätigkeit denjenigen bei Kohlensäurewirkung analog sind. Tschagowetz¹⁾ hat geradezu unter Annahme der wahrscheinlichsten Konzentration der abgespaltenen Kohlensäure die elektromotorische Kraft zu berechnen gesucht und mit derjenigen der Demarkations- und Aktionsströme (s. oben) von gleicher Grössenordnung gefunden.

Es wären dann also die frei beweglichen Kationen $\overset{+}{\text{H}}$ -Ionen und die nicht durchgelassenen $\overset{=}{\text{CO}}_3$ -Ionen. So einfach dürfte aber die Sache kaum liegen. Das lebendige Eiweiss enthält z. B. Alkalisalze in lockerer Bindung, ja es scheint selbst als organische Säure funktionieren zu können, so dass bei der Spaltung Metallionen als Kationen, kompliziertere Eiweisspaltungsprodukte als Anionen in Frage kommen können, die eben wegen der Grösse des Atomkomplexes nicht durch die „Membran“ durchgelassen werden²⁾. Auch die durch Indikatoren nachweisbare Säuerung braucht ja nicht einem wirklichen Überschuss an $\overset{+}{\text{H}}$ -Ionen zu entsprechen (vergl. oben S. 65).

Etwas zu weit geht wohl Waller, wenn er in seinem oben angeführten Buche „Kennzeichen des Lebens“ geradezu von einem — offenbar elektrolytischen — „Lösungsdruck“ des Protoplasmas spricht; bis jetzt ist dieser Ausdruck von den physikalischen Chemikern doch nur für Metalle gebraucht worden; darum ist Waller auch gezwungen, nur die Kationen zu berücksichtigen.

Die „Positivität“ (richtiger „Elektronegatives Verhalten“) bei verstärkter Assimilation — siehe oben über die positive Nachschwankung —, im Analektrotonus usw. kann im allgemeinen wohl nur so verstanden werden, dass entweder durch die assimilatorische Synthese die Konzentration lokal vermindert, oder dass (durch die Nachbarschaft einer Anode) die durch die Membran durchgehenden Kationen abgestossen werden.

Den Beweis für die Natur des Demarkationsstromes als „Konzentrationskette“ haben ausser Tschagowetz (s. oben) noch Oker-Blom³⁾ und Macdonald⁴⁾ beizubringen gesucht, indem sie den Muskel resp. Querschnitt desselben mit verschiedenen hypo- und hypertonen Lösungen in Berührung brachten und von beiden durch unpolarisierbare Elektroden ableitend, die dabei entstehenden elektromotorischen Kräfte massen. Während indessen Oker-Blom an der Entstehung der Konzentrationskette durch Alteration festhält, nimmt Macdonald und ebenso unabhängig von ihm Bernstein⁵⁾ an, dass ein Konzentrationsunterschied zwischen Protoplasma und „Hüllenflüssigkeit“ von vornherein bestehe⁶⁾, und bei der „Verletzung“ von „innen“ und „ausen“ abgeleitet werde, unter Zwischenschaltung der

1) Betrachtung der elektrischen Erscheinungen usw. Petersburg 1903, in russischer Sprache.

2) Auch soweit sie nicht ionisiert sind, ist ihre Reibung, elektrische Ladung usw. von grösster Bedeutung; vergl. die neueren Arbeiten aus der Kolloidlehre von Hardy, Cohn, Biltz u. a.

3) Pflügers Archiv f. d. ges. Physiologie, Bd. 84, S. 191; 1901.

4) Proceedings Royal Society of London, Bd. 67, 1900; Arbeiten des Thompson-Yate-Laboratoriums in Liverpool; 1902.

5) Pflügers Archiv, Bd. 92, S. 521; 1902.

6) Im Sinne von du Bois-Reymonds „Präexistenzlehre“.

„Membran“ nur an einer Stelle; beide Autoren wollen die „Membrantheorie“ geradezu an die Stelle der „Alterationstheorie“ setzen, was für die „Aktionsströme“ sicher nicht mehr denkbar ist, seitdem deren völliger Parallelismus zu den Stoffwechselforgängen (Narkose, Ermüdung) bekannt geworden ist¹⁾.

Ist so die propotoplasmatische „Grenzschicht“ zur Erklärung der lokalen Potentialdifferenzen — Verletzungsströme, Sekretionsströme, „Flammströme“ — von grundlegender Bedeutung, so wird sie es erst recht für alle Ausbreitungs- und Fortpflanzungserscheinungen elektrischer Potentialunterschiede, zu deren Erklärung der Alterationsbegriff allein nicht genügt (Boruttau).

Es ist hierzu notwendig, dass ausserhalb der „Grenzschicht“ als trennender Membran noch eine, normalerweise dem Inhalt isosmotische „Hüllenflüssigkeit“ vorhanden sei, wie das mit Sicherheit gerade für die erregungsleitenden fibrillären Gebilde angenommen werden darf: Muskelfibrillen im Sarkoplasma, Neurofibrillen in der Achsenzylinderflüssigkeit usw. Es entstehen so Gebilde, welche zu den früher vielfach als Modelle der elektrotonischen Ströme des Nerven usw. untersuchten „polarisierten Kernleitermodellen“ eine gewisse Analogie besitzen, insofern der lokale Ausgleich des Konzentrationsunterschiedes und der damit verbundenen Potentialdifferenz („Lokalstrom“) eine ebensolche in der unmittelbaren Nachbarschaft setzt usw.; mit anderen Worten diese „Kernleiterstruktur.“ oder „Grenzschichttheorie“ mit Annahme einer Hüllenflüssigkeit erklärt die wellenförmige Fortleitung der Aktionsströme, und da diese (s. oben) z. B. beim Muskel der „Kontraktionswelle“ vorauflaufen, wahrscheinlich überhaupt die wellenartige Fortpflanzung der Stoffwechselforgänge auf Grund des Gesetzes vom Aktionsstrom (L. Hermann). Die „Grenzschichttheorie“ liefert also den Schlüssel zum Verständnis der „Erregungsleitung“ auf elektrochemischer Grundlage.

Auf die Versuche mathematischer Fassung, welche bis jetzt im allgemeinen nur den „polarisierten Kernleiter“ betreffen (Hermann, Hoorwey, Cremer), kann hier nicht eingegangen werden, zumal sie allesamt noch ungenügend sind.

Unmittelbar auf der Anziehung resp. Abstossung der Ionen der Hüllenflüssigkeit durch die Elektroden der konstanten Kette und der ungleichen Durchlässigkeit der „Grenzschicht“ beruht die Entstehung der extrapolaren elektrotonischen Ströme, als eine Art von Stromverzweigung, welche um so stärker sein wird, je grösser die relative Mächtigkeit der

¹⁾ Vergl. meine Bemerkungen, Pflügers Archiv, Bd. 105, S. 427; 1904.

Hüllengebilde ist: am stärksten beim markhaltigen Nerven, am schwächsten bei der Muskelfaser.

59. Bedeutung der „Alterationsnegativität“.

Dass alterierte Stellen gerade „negativ“ werden, offenbar infolge der besseren Durchlässigkeit der Grenzschicht für den kationenbildenden Anteil der Spaltungsprodukte der lebendigen Substanz, und geringeren für den anionenbildenden Anteil steht in inniger Beziehung zu den allgemeinen Gesetzen der elektrischen Erregung, welche im folgenden Abschnitt zu behandeln sein werden.

Fünfter Abschnitt.

Die physiologischen Wirkungen der Elektrizität.

60. Die Elektrizität als Reiz. Elektrophysiologie und Elektropathologie.

Die Wirkungen durch den lebenden Organismus hindurchbewegter Elektrizität können derart sein, dass Lebenserscheinungen innerhalb des normalen Bereiches durch sie in Gang gesetzt, gehemmt oder verändert werden: Reizwirkungen, erregende Wirkungen der Elektrizität, im Sinne der allgemeinsten Bestimmung des Reizbegriffes: „elektrische Reizung“. Andererseits können sie soweit gehen, dass Lebenserscheinungen im Sinne des Krankhaften dauernd verändert, insbesondere vernichtet werden, mit oder ohne anatomische Veränderung, eventuell Zerstörung der Organe, — bis zur Tötung des Gesamtorganismus: pathologische Wirkungen der Elektrizität. Die Lehre von den letzteren ist neuerdings als „Elektropathologie“ bezeichnet worden. Andererseits ist man gewohnt, als „Elektrophysiologie“ die Lehre von den physiologischen (Reiz-)Wirkungen der Elektrizität und diejenige von den elektrischen Erscheinungen an lebenden Gebilden zusammenfassen, beides unter normalen Verhältnissen. Ich habe dementsprechend vorgeschlagen¹⁾, die Veränderungen sowohl der Reizeffekte der Elektrizität, als auch der elektrischen Erscheinungen an dem durch irgend welche Krankheit veränderten Gebilde, resp. Gesamt-Organismus als Elektropathologie zu bezeichnen; rechnen wir hierzu noch eben jene schädigenden Starkstromeffekte, — auch die therapeutische Elektrolyse lebender

¹⁾ Pflügers Archiv, Bd. 105, S. 444; 1904.

Gewebe gehört hierher — so haben wir ein gewaltiges Gesamtgebiet vor uns in Gestalt der Elektropathologie, an welches sich Elektrodiagnostik und Elektrotherapie unmittelbar anschliessen. Die Kenntnis der normalen Reizwirkungen ist zum Verständnis und zur wissenschaftlichen Förderung dieser Gebiete die notwendige Grundlage, und ich hoffe im folgenden zeigen zu können, wie die Gesetze dieser normalen Reizwirkungen mit den elektrischen Lebensäusserungen der Gewebe und Organe zusammenhängen, und wie sich beide, soweit unsere heutige Erkenntnis reicht, auf die Gesetze der Elektrizitätsleitung in flüssigen Leitern zurückführen lassen.

61. Leitungswiderstand des lebenden Körpers.

Die Elektrizitätsleitung in jeder Art Leiter gehorcht dem Ohmschen Gesetz (s. Seite 18), und da wir die Abhängigkeit der mechanischen, thermischen und chemischen Wirkung des Stromes von dessen Intensität kennen und zunächst eine gleiche Abhängigkeit auch für die physiologischen Wirkungen als wahrscheinlich voraussetzen werden, so nimmt es uns nicht wunder, dass zur Erzielung von Reizerfolgen, insbesondere Bewegungen und Empfindungen in dem verhältnismässig umfangreichen menschlichen Organismus relativ bedeutende Potentialdifferenzen nötig erscheinen, ja Schädigungen und Tötungen durch Elektrizität direkt an hohe Spannungen geknüpft sind; um einen bestimmten Wert von i zu erreichen, muss V um so grösser sein, je grösser w ist.

Der Leitungswiderstand der tierischen Gewebe ist ein sehr hoher. Gilt es schon für die flüssigen Leiter überhaupt, dass ihr Leitungswiderstand vielemal grösser ist, als derjenige der Leiter erster Klasse, so kommt für die lebendige Substanz noch dazu, dass es sich nicht um reine Elektrolyten handelt, sondern um kolloidale Flüssigkeiten, in welchen das Kolloid, mag man es nun als suspendierte Partikel oder eine verwickelter strukturierte Materie ansehen, die Wanderung der Ionen, in welcher ja die Elektrizitätsbewegung in Flüssigkeit besteht, durch eine Art Reibung behindert. Dazu kommt noch die Abgrenzung der einzelnen Organe durch Membranstrukturen, der einzelnen Gewebselemente durch ektoplasmatische „Grenzschichten“, welche als semipermeable Membranen, wie schon erwähnt, im Sinne Oswalds eine spezifische Ionenpermeabilität, vielleicht sogar ein spezifisches „Ionenlösungsvermögen“ (Brünings¹) haben dürften, Eigenschaften, welche beim Stromdurchgang nach Art von Polarisationsvorgängen als „Übergangswiderstand“ zur Wirkung gelangen. Darum haben auch die verschiedenen Organe, je nach ihrer chemischen Zusammen-

¹) Pflügers Archiv, Bd. 100, S. 367; 1903.

setzung und ihrer Struktur, auch je nach der Durchströmungsrichtung (insbesondere die fibrillären Organe, Muskeln und Nerven) einen verschiedenen Leitungswiderstand.

Man hat sehr früh angefangen, diesen am Lebenden, am Tier, an der Leiche vergleichend zu bestimmen, hat angegeben, dass die Muskeln so und so vielmal besser leiten, als die Nerven, dass die Knochen schlechte Leiter sind; man hat sich besondere Mühe gegeben, nachzuweisen, dass bei Anlegung von Elektroden am Kopf überhaupt Stromfäden durch das Gehirn gehen usw.; über alle diese Dinge kann in Ziemssens „Elektrizität in der Medizin“, fünfte Aufl. 1887, S. 12 ff. ausführlicher nachgelesen werden; Zahlenangaben haben hier mit Rücksicht auf die gleich zu besprechenden Verhältnisse wenig Wert.

Am bedeutendsten ist der Leitungswiderstand der Horngebilde und damit bei Durchströmung des intakten lebenden Menschen oder Tieres derjenige der Haut mit Epidermis; natürlich richtet er sich nach dem Elektrodenquerschnitt (Berührungsfläche mit der Epidermis) und kann bei knopf- oder spitzenförmigen Elektroden mehrere hunderttausend Ohm erreichen; es herrscht hier grosse Verschiedenheit je nach dem Individuum und der Stelle der Körperoberfläche. — Handteller und Fusssohle bieten einen verhältnismässig geringen Widerstand, — sowie der Innigkeit der Berührung mit den Elektroden, Anfeuchtung dieser und Durchtränkung der Haut mit der Elektrodenflüssigkeit (Gärtner, Jolly). Hiermit hat man auch die schnelle Abnahme des Widerstandes in Zusammenhang gebracht, welche bei Durchströmung mit dem konstanten Strom regelmässig zu beobachten ist, und sie auf kataphorischen Wassereintritt durch den Strom und dadurch erzeugte Quellung der Epidermis bezogen. Diese Erklärung ist im Lichte unserer heutigen Kenntnisse ungenügend, ja falsch, da notwendig ein Austausch zwischen Ionen der Elektrodenflüssigkeit und solchen des Körpers durch die Hautfläche hindurch stattfinden muss, wenn überhaupt Elektrizität strömt. Es wird also auf die Zusammensetzung der Elektrodenflüssigkeit und die angewendete Spannung ankommen, für die Art und Weise, wie sich die resultierende Stromstärke ändert. Leduc¹⁾ fand, dass dies bei bestimmter Elektrodenflüssigkeit und Stromwendung in regelmässigen Zwischenräumen in einer stets durchaus charakteristischen Kurve erfolgt; natürlich muss, wie oben schon angedeutet, auch die Elektrodenoberfläche bekannt sein; Widerstandsmessungen in vivo ohne diese drei Angaben sind absolut wertlos!

Rechnet man noch hinzu, wovon bald die Rede sein wird, dass die Stromverzweigung innerhalb des durchströmten Gesamt-

¹⁾ Die Ionen- oder elektrolytische Therapie. Ztschr. f. Elektrotherapie, Bd. 6, 1904; auch in Buchform erschienen.

organismus eine nicht ohne weiteres zu übersehende sein wird, so erscheint es geradezu als selbstverständlich, dass die grundlegenden Kenntnisse von den Reizwirkungen der Elektrizität speziell auf die erregbaren Gebilde Muskel und Nerv nur an ausgeschnittenen überlebenden Organen des Kaltblüters, meist des Frosches, gewonnen werden konnten und durch die Erfahrungen der Elektrodiagnosten am Menschen nur gewissermassen eine indirekte Bestätigung erhielten, ja diese letzteren lange schwierig zu deuten und mit den ersteren kaum in Übereinstimmung zu bringen schienen.

62. Die vier allgemeinen Erregungsgesetze: erstes Erregungsgesetz, von der Bedeutung der Stromdichte.

Jedenfalls geht bei der Durchströmung des unversehrten Körpers durch das einzelne Organ immer nur ein Teil der Stromlinien oder „Stromfäden“ und es ist somit die (in der Zeiteinheit) durch den Querschnitt fliessende Elektrizitätsmenge oder „Stromdichte“ für dieses Organ (*ceteris paribus*) geringer, als wenn dasselbe herausgeschnitten und die Elektroden ihm direkt angelegt werden: darum braucht man zur Reizung durch Batteriestrom im letzteren Falle eine geringere Zahl hintereinandergeschalteter Elemente (genügt ein einziges), obschon der Widerstand eines ausgeschnittenen einzelnen Muskels oder gar eines dünnen Nerven naturgemäss sehr bedeutend ist; man wird ferner finden, dass, wenn ein eingeschaltetes Galvanometer die gleiche Intensität i anzeigt (was durch regulierbare Widerstände in Neben- oder Reihenschaltung ja leicht zu erreichen ist), die Reizerfolge grösser sind im Fall, dass die Berührungsfläche zwischen Organ und Elektrode klein ist, als wenn sie grösser ist. Dies gilt auch für die Reizung im unversehrten Körper, und wir können als erstes allgemeines Erregungsgesetz formulieren, dass die physiologische Wirkung des Stromes seiner **Dichte** an der Ein- resp. Austrittsstelle in das betreffende Organ proportional ist.

63. Zweites Erregungsgesetz, von der Bedeutung der Steilheit der Stromschwankung.

Nun hat man an dem ausgeschnittenen Nervmuskelpreparat vom Frosch meistens nur dann Reizerfolg, bestehend in „Muskelzuckung“ gesehen, wenn die Dichte, resp. bei gleichbleibender Berührungsfläche an den Elektroden die Intensität des Stromes sich ändert — am auffälligsten und stärksten bei der Öffnung und Schliessung des Stromes, d. h. also plötzlicher Schwankung zwischen Null und dem Maximum der Intensität.

Durch geeignete Apparate, welche z. B. einen Kontakt in einer Flüssigkeitsrinne gleichmässig weiter bewegen und dadurch einen Wider-

stand gleichmässig vermindern oder vermehren, sog. Rheonome (Fleischl, Fuhr, v. Kries u. a.) lassen sich nun Schwankungen von bestimmtem, z. B. geradlinigem Kurvenverlauf und von beliebiger „Steilheit“ erzeugen, und man hat gefunden, dass eine langsamere, allmählichere Schwankung von grösserem Betrage das motorische Präparat nicht so kräftig (oder noch gar nicht) erregte, gegenüber einer schnelleren, plötzlicheren Schwankung von geringerem Betrage;

ja es gelingt, mit passenden Vorrichtungen einen kräftigen Batterie-strom in ein solches allmählich hineinzuschicken, ohne dass eine Zuckung eintritt („Einschleichen in die Kette“).

E. du Bois-Reymond hat darum seinerzeit als (zweites) allgemeines Erregungsgesetz geradezu formuliert, dass der Reizerfolg der Geschwindigkeit der Änderung der Stromdichte direkt proportional sei:

mathematisch wird diese Geschwindigkeit der Veränderung oder Steilheit des Kurvenverlaufes ausgedrückt durch den Differentialquotienten hier also der Intensität i nach der Zeit t , es gälte also für die Grösse der Erregung e :

$$e = \text{const.} \frac{di}{dt}$$

In der Tat eignen sich wegen der bedeutenden Steilheit ihres Verlaufes zur Erzeugung von motorischen Reizerfolgen besonders die Induktionsströme, und von den beiden Induktionsströmen der gewöhnlichen Induktionsapparate (vergl. oben) hat der steilere, nicht durch den Extrastrom verlangsamte (S. 26) „Öffnungsinduktionsschlag“ die kräftigere Wirkung. Da besonders die Wechselströme der Schlitteninduktoren mit gewöhnlichen Unterbrechern aber einen sehr unregelmässigen Verlauf haben, ihre Intensitätsmessung schwierig und unsicher, einzelne Induktionsströme von genau bekanntem (z. B. sinusförmigem) Verlauf schwer zu erzeugen sind, hat man neuerdings vielfach Kondensatorentladungen (Cybulski und Zanietowski, Hoorweg, G. Weiss, Lopicque u. a.) zur Untersuchung der in Frage stehenden Gesetzmässigkeiten angewendet und ist zu von obiger Formulierung abweichenden Ergebnissen gelangt, nachdem deren allgemeine Gültigkeit schon sowieso bezweifelt werden musste: empfunden wird der konstante Strom auch während der Dauer seines Fliessens, so dass also i selbst für die sensiblen Apparate ein Faktor der Erregung sein muss.

Wird ein Kondensator von der Kapazität C aufs Potential V geladen, so ist die dazu nötige Elektrizitätsmenge (s. oben) $C \cdot V$, die zur Ladung nötige, resp. bei der Entladung geleistete Arbeit $\frac{1}{2} C \cdot V^2$; man hat nun bei verschiedener Kapazität C das zur Minimalerregung nötige V aufgesucht und gefunden, dass C weder V noch V^2 umgekehrt proportional ist. Hoor-

weg¹⁾ fand $V = \alpha \cdot w + \frac{b}{c}$, wo b und c Konstante sind, und berechnet für einen konstanten Strom die „Differentialerregung“ $\varepsilon = \alpha_0 i \cdot e^{-\beta t}$, wo e die Basis der natürlichen Logarithmen ist; α_0 , welches für $t = 0$ gleich ε ist, ist die „Anfangserregbarkeit“. Für die „Integralerregung“ oder Gesamterregung durch den Kettenstrom wäre hiernach die Intensität i selbst, für Wechselströme die mittlere Intensität massgebend für den motorischen Effekt. G. Weiss²⁾ findet einen Einfluss der Zeit in der Weise vorhanden, dass die zur Erregung nötige Elektrizitätsmenge $q = \alpha + \beta t$, und, Weiss' Versuche mit Strömen von sehr kurzer Dauer erweiternd, hat Lapicque³⁾ noch eine andere Formel mit 3 Konstanten gefunden. Während Hermann im wesentlichen an du Bois-Reymonds Gesetz festhält, haben sich die Elektrodiagnostiker und Elektrotherapeuten meistens sehr energisch für die absolute Reizwirkung von V resp. i erklärt, so Dubois in Bern⁴⁾, Wertheim Salomonsohn⁵⁾ und andere, welche z. T. schon vor Hoorweg „Erregungsgesetze“ aufgestellt haben.

Eine bedeutende Verwirrung ist leider in diesen Streit dadurch hineingelangt, dass nicht genügend zwischen der Art des motorischen Reizerfolges unterschieden wurde, in dem jedem Physiologen elementar geläufigen, in kurzem hier zu erörternden Sinne:

Der Reizerfolg der Stromschwankung bei einem aus motorischem Nerven und quergestreiftem Muskel bestehenden Objekt ist ein von der Reizstelle aus wellenförmig sich fortpflanzender Vorgang von kurzer, je nach der natürlichen Stellung des Objektes und seinem Zustande ein für allemal bestimmter Dauer: die „Erregungswelle“ des Nerven und die mit dieser verbundenen Kontraktionswelle in der Muskelfaser, welche letztere bei einigermassen gleichzeitigem Beginn in den Fasern eines Gesamtmuskels sich in dessen „Zuckung“ äussert: es folgt schon hieraus, dass eine Formel für die Beziehungen zwischen Elektrizitätsbewegung und muskulärem Reizerfolg nur auf eine durchaus beschränkte Gültigkeit wird Anspruch machen können.

Schon du Bois-Reymond hat auf die weitere Diskussion der Bedeutung der „Integralerregung“ verzichtet!

Mehrere Stromschwankungen als „Reizreihe“ führen bekanntlich zur mechanischen „Summierung“ der Zuckungen, eine längere genügend frequente Folge zu der als Tetanus bezeichneten scheinbaren Dauerkontraktion, welche in Wahrheit diskontinuierlich ist, und deren Grösse in noch nicht genügend erkannter Weise von der Stärke und Frequenz der Einzelreize abhängt!

Während des Effekts eines Reizes herrscht nun ferner in abnehmendem Masse Unwirksamkeit eines zweiten („Refraktärperiode“), so dass von

1) Pflügers Archiv, Bd. 52, S. 87, 1892, und viele spätere Arbeiten.

2) Comptes rendus de la société de biologie, Bd. 53, S. 466, 523; 1901.

3) Comptes rendus de l'acad. des sciences, Bd. 136, S. 1477; 1903.

4) Untersuchungen über die Wirkungen der Kondensatorentladungen. Bern 1888 und spätere Arbeiten.

5) Ned. Tijdschr. voor Geneeskunde, 1891 und spätere Arbeiten.

zwei genügend rasch aufeinanderfolgenden Reizen nur der erste wirksam ist. Jede Art Nerv und (quergestreifter) Muskel hat daher ihre, im allgemeinen ziemlich niedrige (500 beim motorischen Nerven des Frosches) Grenze der Reizfrequenz, auf welche sie noch in der Weise reagieren kann, dass jedem Reiz ein Reizerfolg entspricht: ist die Frequenz höher, so wird, wenn alle Reize genau gleich und die Intervalle gleich, völlige Unwirksamkeit sich zeigen, mit Ausnahme der ersten Stromschwankung, welche eine „Anfangszuckung“ (Bernstein) erzeugt: Unregelmässigkeiten, sowie Veränderungen im Zustande des Präparates bedingen unregelmässige Zusammenziehungen, für deren „Reizschwelle“ gar keine gesetzmässige Abhängigkeit von mittlerer Intensität des Stromes und Frequenz der Wechsel verlangt werden kann:

Danach sind auch die neueren Bemühungen zu beurteilen, das zur Erregung nötige Verhältnis zwischen Intensität und Frequenz von Wechselströmen zu finden, wenigstens soweit motorische Präparate benutzt wurden (Nernst, Einthoven, Wertheim-Salomonsohn u. a.): hochfrequente Wechselströme, Teslaströme usw. erzeugen nur insofern Kontraktionen, als sie niemals „unge-dämpft“ sind (s. S. 37 Fig. 30b). Die jedem primären Unterbrecherfunken entsprechende dekrementielle Schwingungsfolge macht für sich eine „Anfangszuckung“.

Bei den schon erwähnten Versuchen mit Rheonomen haben die betreffenden Forscher den Verlauf der Zuckung, resp. des Aktionsstromes etwas verschieden gefunden, je nach dem Verlauf der reizenden Stromschwankung — Momentan- und „Zeitreize“. Auch dem Erfolge der natürlichen, zentralen Nerven-erregung ist ein abweichender, besonders langsamer Verlauf schon immer zugeschrieben worden. Der Verfasser dieses Buches muss vorläufig an der Annahme festhalten, dass alle hierhergehörigen Erscheinungen durch nicht gleichzeitigen (nicht synchronischen) Ablauf der Erregung in den einzelnen Elementen des betreffenden Organes vorgetäuscht seien; näher kann an dieser Stelle nicht auf diese einer zusammenfassenden Bearbeitung sehr dringend harrenden Dinge eingegangen werden.

64. Drittes oder polares Erregungsgesetz.

Passende quergestreifte parallelfaserige Muskelpräparate (s. unten), besonders auch im absterbenden Zustande zeigen während der Dauer des Stromes lokale Zusammenziehung („Kontraktionswulst“) an der Stromaustrittsstelle (Kathode). [Von den sensibeln Nerven (besonders in der Haut, doch auch von grossen Nervenstämmen) aus wird der konstante Strom während seiner ganzen Dauer empfunden, in Gestalt eines „Brennens“, welches von dem mehr stechenden, prickelnden Schmerze, den insbesondere sehr steile und unregelmässige Stromschwankungen (wie die Wechselströme der gewöhnlichen Induktionsapparate) erzeugen, deutlich verschieden ist; die einzelne Stromschwankung macht die wohl bekannte Empfindung des „elektrischen Schlages“.]

Die oben erwähnte lokale Zusammenziehung findet, um es zu wiederholen, statt an der Austrittsstelle oder Kathode des Stromes; wird der Strom geöffnet, so verschwindet sie, und es tritt dafür der „Kontraktionswulst“ an der bisherigen Eintrittsstelle oder Anode des Stromes auf.

Sehr gut, besonders bei Wendung der Stromrichtung, lässt sich dies am *M. rectus abdominis* des Frosches zeigen, welcher zu beiden Seiten jeder Quersehne (*Inscriptio tendinea*) eine „physiologische Anode und Kathode“ besitzt, indem der Strom aus dem betreffenden Muskelabschnitt heraus- und in den nächsten hineintritt. Bei Schliessung des Stromes erscheinen auf der einen Seite aller Quersehnern deutliche Kontraktionswülste, nach Öffnung und besonders Wendung des Stromes auf der anderen (siehe Figur 62).

Glattmuskelige Organe, welche in einem dauernden Zustande der Zusammenziehung sich befinden, zeigen an der Anode während der Stromes-

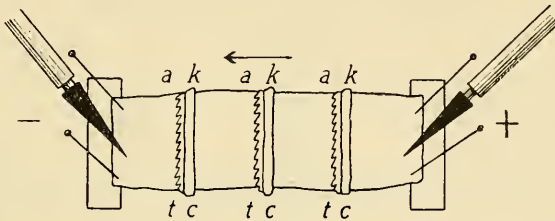


Fig. 62.

Musculus rectus abdominis vom Frosch mittelst Nadeln auf zwei Korkplättchen fixiert und vermittelt zweier unpolarisierbarer Elektroden durchströmt.

t Quersehnern. c Kontraktionswülste. a physiologische Anoden. k desgl. Kathoden.

dauer und an der vorherigen Kathode nach der Öffnung Verminderung dieses Tonus oder „Erschlaffung“ (Biedermann u. a.)

Aber auch für die wellenförmig ablaufende Kontraktion der Muskeln, ebenso wie für die Erregungswelle der Nerven lässt sich, unter steter Anwendung der „bipolaren Methode“, d. h. Durchströmung einer begrenzten Strecke zwischen zwei Elektroden, zeigen, dass bei der Schliessung resp. jeder Verstärkung die Erregungswelle ihren Ausgang nimmt von der Kathode, bei der Öffnung resp. jeder Schwächung von der Anode. Man fasst die besprochenen verschiedenen Wirkungen der beiden Pole zusammen als das (dritte oder) polare Erregungsgesetz (Ritter, Pflüger, v. Bezold, Hering und Biedermann u. a.).

Das klassische Instrument der „Froschphysiologen“ zur Demonstration des „polaren Erregungsgesetzes“ ist der Heringsche Doppelmyograph, bei welchem ein entnervter parallelfaseriger Frosch Sartorius in der Mitte unbeweglich eingeklemmt ist, doch so, dass diese Stelle die Erregung noch leitet; beide Enden ziehen an je einem Schreibhebel, welche übereinander die Zuckungskurve verzeichnen und sind mit beweglichen unpolarisierbaren Elektroden verbunden, deren eine zur Kathode, deren andere zur Anode des Batteriestromes gemacht wird. Bei der Schliessung beginnt stets die mit der Kathode, bei der Öffnung die mit der Anode verbundene Muskelhälfte zuerst sich zusammenzuziehen (siehe Figur 63).

65. Viertes Erregungsgesetz, von der stärkeren Wirkung der Kathodenschliessung.

Zur Erzeugung der kathodischen Schliessungserregung ist (viertes Gesetz) ein schwächerer Strom bereits genügend, als zur Erzeugung der anodischen Öffnungserregung.

Schon in dieser Tatsache liegt eine gewisse Berechtigung zu der Formulierung in dem Sinne, dass die sogenannte Öffnungserregung an der Anode gewissermassen die Kathodenschliessungswirkung eines gegensinnigen, während der Durchströmung sich entwickelnden „Polarisationsstromes“ sei. Freilich handelt es sich, wie wir jetzt wissen, nicht um eigentliche Polarisation, sondern um eine Ionenansammlung an der „semipermeablen Grenzmembran“, und da, wie wir sehen, auch

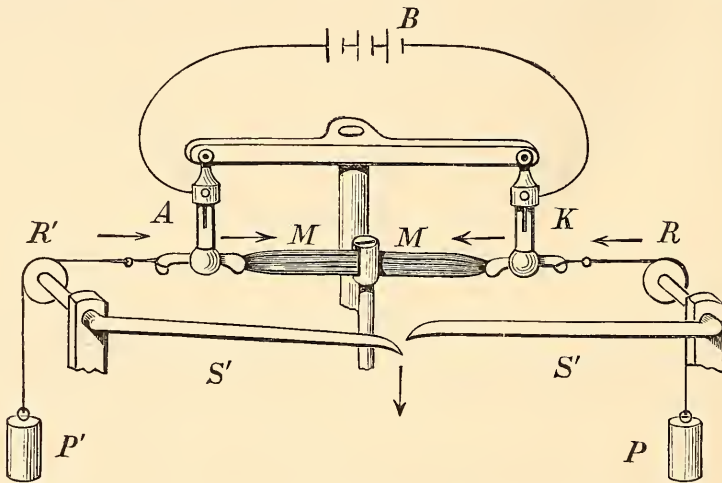


Fig. 63.

MM Muskel, B Batterie, AK Elektroden, PP' Gewichte, RR' Rollen, SS' Schreibhebel.

die kathodische Schliessungserregung auf eine solche zurückzuführen ist, so liegt allerdings keine Veranlassung vor, die anodische Öffnungserregung nicht als „echt“ gelten zu lassen.

Das „polare Erregungsgesetz“ hat Gültigkeit für alle Formen der Muskel- und Nervensubstanz.

Die Umkehrung desselben, welche Biedermann für die glatte Muskulatur des Darmes beobachtet zu haben glaubte, ist nur eine scheinbare. Die Anode ist unmittelbar umgeben von einem Erschlaffungsgebiet, an welches erst sekundär ein Kontraktionsring angrenzt, und umgekehrt für die Kathode.

Auch die Umkehrung bei der pathologischen Degeneration hat sich als nur scheinbar erwiesen, wie im nächsten Abschnitt ausführlicher gezeigt werden wird.

Mannigfaltiger und nicht so leicht zu übersehen und unter einen Hut zu bringen sind allerdings die polaren Wirkungen des elektrischen Stromes auf die lebendige Substanz im allgemeinen und auf die niederen Organismen (Protisten) insbesondere.

Es sind in neuerer Zeit eine Fülle von Beobachtungen angestellt worden an Infusorien, wie auch höheren Tieren, Froschlarven, Fischen usw., welche in einem flüssigen Medium schwimmen, durch welches man einen Strom schickt. Die Organismen richten dann die Längsachse ihres Körpers in die Richtung des Stromes oder senkrecht zu derselben, je nachdem, und bewegen sich nach dem einen der Pole hin: Erscheinungen des „Galvanotropismus“ resp. der „Galvanotaxis“ (Verworn, Ludloff u. v. a.). Drehungs- und Bewegungsrichtung erweisen sich als abhängig von der Art des Lebewesens, der Stärke des Stromes, der Zusammensetzung und Konzentration des flüssigen Mediums. Parameecien (eine wimpertragende grosse Infusorienart) schwimmen in verdünnter Kochsalzlösung nach der Kathode. Schon diese Erscheinungen sind nicht so einfach zu deuten, erst recht nicht bei höher stehenden Tieren (Fischen), wo das Zentralnervensystem und die anderen Organe in der verschiedensten Weise beeinflusst werden.

Dazu kommen aber noch Veränderungen an den Organismen selbst: Amöben ziehen auf der Anodenseite die Fortsätze („Pseudopodien“) ein und runden sich ab; bei stärkeren Strömen kommt es zu Absterbeerscheinungen („körnigem Zerfall“) des Protoplasmas usw. (Verworn).

Es ist nun darüber gestritten worden, inwiefern hier das „polare Erregungsgesetz“ Gültigkeit habe oder nicht usw. Demgegenüber muss betont werden, dass einmal die Kontraktions- und Expansionserscheinungen einzelliger Organismen durchaus nicht das genaue Korrelat zur Kontraktion und Erschlaffung des Muskels zu sein brauchen, dann aber überhaupt, dass je nach der chemisch-physikalischen Konstitution der betreffenden Lebewesen die Wirkungen desselben Poles recht wohl verschieden sein können; dass hier, wo in einem Organismus resp. einer Zelle alle Funktionen beisammen sind, sich dieselben nur schwierig trennen lassen, ebenso die Grenze zwischen Physiologischem und Pathologischem kaum zu ziehen ist und endlich, dass sich nicht genau sagen lässt, welche Wirkung des Stromes jeder Erscheinungsform zugrunde liegt: Ionenwirkung, sekundäre chemische Wirkung, Kataphorese, thermische Wirkung.

66. Erklärung des polaren Erregungsgesetzes.

Bei den spezifisch reizbaren Gebilden dagegen, bei welchen dasjenige, was wir Erregung nennen, als scharf begrenzter Erscheinungskomplex uns entgegentritt — Muskel und Nerv — können wir uns eine greifbarere Vorstellung bilden von der Reizwirkung des Stromes an der Kathode.

Höchst wahrscheinlich beruht die Reizwirkung des Stromes auf Muskeln und Nerven auf der lokalen Konzentrationsänderung, welche durch die Wanderung der Kationen der „Hüllenflüssigkeit“ (resp. Elektrodenflüssigkeit) nach der Kathode gesetzt ist (Nernst, Boruttan u. a.), welche sekundär ein Diffundieren von Kationen aus dem Inneren des Gebildes durch die Grenzschicht (Ektoplasma) bedingt. Bei der grossen Labilität der die Muskel- und Nervensubstanz aufbauenden Verbindungen, wird ein Zerfall derselben mit Frei-

werden von Energie = dissimilatorische Erregung [im Sinne der modernen allgemeine Physiologie¹⁾] die Folge sein.

Die Kationen sind ja elektropositiv geladene Wasserstoff- oder Metallionen; Metall- resp. Salzeiweissverbindungen zeigen bekanntlich tiefgreifende Zersetzung auch durch blosse langdauernde Dialyse gegen reines Wasser, welche ihnen das Metall entzieht.

Für die Zerfallsprodukte, welche gleichfalls elektrolytisch — eventuell hydrolytisch — dissoziiert sind, ist die Grenzschrift in dem im vorigen Abschnitt erörterten Sinne „semipermeabel“, so dass sie die Anionen zurückhält, während Kationen in die Nachbarschaft vermehrt diffundieren werden, was einen Strom in dem Gebilde von der unter der **Kathode** liegenden Stelle **weg** bedeutet, somit dem durchgeschickten Strom entgegen: es ist dies der „elektrotonische Strom“, welcher extrapolar dem Batteriestrom gleich, intrapolar entgegengesetzt gerichtet ist (Hermann), der polarisatorische²⁾ Gegen- und Nachstrom, welcher die Anodenöffnungserregung erklären soll, der „Flammstrom“ Wallers, der bei Untersuchung der soeben gereizten Stelle selbst erscheint, endlich durch die wellenförmige Fortpflanzung längs der „Grenzschrift“ der phasische Aktionsstrom oder die Negativitätswelle, **deren Zusammenhang mit der Erregung resp. „Alteration“ gewissermassen das Spiegelbild der Tatsache bildet, dass gerade die Kathode oder der negative Pol „erregt“.**

So erscheint der dissimilatorische Zerfall als Sekundärererscheinung einer „Ionenverschiebung“ oder „Konzentrationsänderung“ und im Lichte der modernen Ionenlehre bestätigt sich vollinhaltlich E. du Bois-Reymonds berühmter Ausspruch, dass die elektrische Erregung der Muskeln und Nerven nur die erste Stufe der Elektrolyse sei, — die erste Stufe insofern, als hier nur das labile Protoplasma zerfällt, unter Abscheidung von „Stoffwechselprodukten“ mit darauffolgender Regeneration, während wir bei der „Elektrolyse“ von Flüssigkeit im strengen Sinne des Wortes grössere Mengen anorganischer Körper als sekundäre Zersetzungsprodukte an den Elektroden sich ansammeln zu sehen gewohnt sind. Diese eigentliche Elektrolyse können wir auch bei lebenden Geweben beobachten, sie wird auch therapeutisch verwertet und gehört als „pathologische Erscheinung“ in den nächsten Abschnitt.

Aber auch bei der mechanischen und manchen Arten chemischer Reizung dürfen wir die Konzentrationsänderung als primären Faktor des dissimilatorischen Zerfalls und der Aktionsnegativität annehmen: Kompression und konzentrierte Salzlösungen reizen offenbar durch Wasserentziehung. H. Munk, Hoorweg u. a. gingen sogar einmal so weit, das gleiche auch für die elektrische Reizung annehmen zu wollen, also gewissermassen die „Kataphorese“ zur Grundlage der elektrischen Reizung zu machen; es erwies sich dies als ebenso einseitig, wie der Versuch,

1) Claude Bernard, Ewald Hering, Verworn.

2) Nach der älteren Bezeichnungsweise.

den verschiedenen Kationen (Metallionen) spezifisch erregende Wirkungen zuzuweisen, welcher letztere ja immerhin bessere Begründung zu finden schien in zahlreichen Beobachtungen, wie dem künstlichen Demarkationsstrom durch Kalisalze (Biedermann), den erregenden und lähmenden Eigenschaften der Natron-, Kalk-, Kalisalze usw. auf die Muskeln; ein hier nicht näher zu erörterndes, noch lange nicht genügend aufgeklärtes hochinteressantes Gebiet¹⁾.

Auch ein anderer Versuch — Loeb — zur Aufklärung der elektrischen Reizwirkungen musste naturgemäss als zu einseitig der Experimentalkritik seines eigenen Autors weichen²⁾: nämlich die elektrische Ladung der Ionen, speziell der Kationen heranzuziehen, insofern sie die Ladung suspendierter Teilchen neutralisieren und dadurch die Ausfällung dieser fördern (Ausfällungen kolloidaler Flüssigkeiten, Gerinnungsbeschleunigung durch Zusatz von Elektrolyten — Hardy, Picton und Linder). Die dissimilatorische Erregung beruht ja auch nicht auf Gerinnung — die vielmehr mit Tötung der Gewebe identisch ist, — sondern auf Spaltung regenerierbarer labiler Moleküle, wie die Geschichte der Theorien der Muskelkontraktion usw. genügend gelehrt hat.

67. Elektrotonus des Nerven.

Am Nerven macht sich nun weiterhin die gegensätzliche Wirkung beider Pole nicht nur an diesen selbst, sondern weit über dieselben hinaus, extrapolar wie auch in der durchströmten Strecke geltend durch Veränderung der Erregbarkeit, d. h. der Grösse des Erfolges, welchen ein daselbst angebrachter Reiz bewirkt — sei er elektrisch, wie z. B. ein durch ein besonderes Elektrodenpaar zugeführter Induktionsschlag, oder mechanisch (Hammerschlag) oder chemisch (Tropfen konzentrierter Salzlösung): sogen. elektrotonische Erregbarkeitsänderungen (Eckhard, Pflüger³⁾); und zwar herrscht zu beiden Seiten der Kathode erhöhte Erregbarkeit (Katelektrotonus), zu beiden Seiten der Anode verminderte Erregbarkeit (Anelektrotonus). Innerhalb der intrapolaren Strecke findet sich zwischen beiden Gebieten eine Stelle von normaler Erregbarkeit, der sogenannte Indifferenzpunkt.

Man kann die Grösse der Erregbarkeit, gleich dem umgekehrten (reziproken) Wert der Reizstärke, welche aber noch merklichen Reizerfolg hervorruft — „Reizschwelle“ in Gestalt einer Kurve längs des Nerven auftragen; dieselbe schneidet diesen im Indifferenzpunkte i — Figur 64 —; je stärker der Strom, desto mehr rückt der Indifferenzpunkt nach der Kathode hin, desto mehr breitet sich das Gebiet anelektrotonischer Erregbarkeitsherabsetzung aus gegenüber demjenigen katelektrotonischer Erregbarkeitssteigerung (Figur 65).

1) Wer sich dafür interessiert, lese die neueren Arbeiten Overtons, sowie die einschlägigen Kapitel in Hamburgers grossem Werk.

2) Pflügers Archiv, Bd. 91, S. 248; 1902.

3) Physiologie des Elektrotonus. Berlin 1859.

Bei genügend starkem Strome herrscht an der Anode nicht nur verminderte Erregbarkeit (Anspruchsfähigkeit gegen äussere Reize), sondern auch herabgesetzte **Leitfähigkeit** (Fähigkeit, die Erregung von einem Querschnitte zum anderen wellenförmig fortzupflanzen), welche bei starken Strömen bis zur vollständigen „Blockierung“ = Leitungsaufhebung gehen kann, welche sich dann auch auf die ganze durchströmte Strecke ausdehnt.

Dieselbe ist vielfach — zu Versuchen über die Nervenermüdung, zur „reizlosen“ Ausschaltung von Nerven usw. — experimentell benutzt worden.



Fig. 64.

a) aufsteigender } Elektrotonus.
b) absteigender }

Nach der Öffnung des Stromes kehren sich die sämtlichen vorgeschriebenen Erscheinungen um: es herrscht dann auf einige Zeit an der vorherigen Anode erhöhte Erregbarkeit, an der vorherigen Kathode verminderte Erregbarkeit und Herabsetzung, bei genügend stark gewesenem Strom Aufhebung des Leitungsvermögens.

Die Veränderungen der Erregbarkeit und Leitfähigkeit im Elektrotonus sind sofort nach dem Schliessen resp. Öffnen des Stromes an allen davon betroffenen Punkten des Nerven da; ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit ist also unendlich gross; das gleiche gilt übrigens nach den neueren Untersuchungen auch für die elektrotonischen Ströme.



Fig. 65.

Schon während der Durchströmung kann man unmittelbar an der Kathode Herabsetzung an Stelle der anfänglichen Steigerung der Erregbarkeit beobachten, wenn einigermaßen starke Ströme benutzt werden. Man hat dies aus dem maximalen Werte der „Alteration“ resp. „Negativität“ zu erklären gesucht, welcher eine noch stärkere Alterierung resp. Negativierung durch den angebrachten Probereiz nicht mehr möglich macht, ebenso wie sich in unmittelbarer Nähe des Querschnitts die Erregbarkeit herabgesetzt, in etwas entfernterer gesteigert erweist (durch den sich in den Hüllensubstanzen abgleichenden Demarkationsstrom, welcher selbst „Elektrotonus“ macht — L. Hermann). Übrigens ist nach stärkeren Strömen die Kathodenstelle dauernd geschädigt oder braucht wenigstens sehr lange Zeit, um wieder völlig normal zu werden. Man fasst dies ganze Erscheinungsgebiet wohl zusammen als „depressive“ Kathodenwirkung (Werigo, Bürker).

Die Erklärung der insbesondere extrapolaren „elektrotonischen“ Erregbarkeitsänderungen muss, wie für die elektrotonischen Ströme (s. vorigen Abschnitt) in der eigentümlichen fibrillären Struktur der Nervenfasern gesucht werden, welche ausserhalb der „Grenzschicht“, in der konzentrischen „Hüllenflüssigkeit“ bis weit jenseits der Elektroden eine Ionenverschiebung hervorruft: Steigerung der Konzentration der Kationen auf der Kathodenseite, welche zu verstärktem dissimilatorischen Zerfall des Protoplasmas in der Faser („Kern“) disponiert, Steigerung derjenigen der Anionen und Verminderung der Kationenkonzentration auf der Anodenseite, welche dem dissimilatorischen Zerfall entgegenwirkt. Übrigens ist konstatiert worden, dass die Erregungs- (Negativitätswelle) zunimmt, wenn sie in anelektrotonische (relativ positive) Gebiete hineinläuft und abnimmt, wenn sie aus ihnen austritt, dass sie umgekehrt abnimmt, wenn sie in katelektrotonische (relativ negative) Gebiete hineinläuft, wieder zunimmt, wenn sie aus ihnen herauskommt: Hermanns Satz vom polarisatorischen Inkrement und Dekrement der Erregung, welcher gewissermassen eine mechanisch-geometrische Darstellung des Elektrotonus gibt.

68. Zuckungsgesetz für das ausgeschnittene Froschpräparat.

Aus den bis jetzt entwickelten „Erregungsgesetzen“ einschliesslich der elektrotonischen Erregbarkeitsänderungen ergibt sich ohne weiteres, wann bei bipolarer Zuleitung eines Batteriestromes zu einem isolierten Nerven bei der Öffnung und Schliessung dieses Stromes motorischer Reizerfolg zu erwarten ist, je nach der Stärke und Richtung dieses Stromes, den man aufsteigend nennt, wenn er die Richtung hat vom Muskel weg nach dem Zentralorgan zu, absteigend, wenn vom Zentralorgan weg nach dem Muskel zu (Figur 64). Bei schwachen Strömen wird immer nur die Schliessung und zwar an der Kathode als Reiz wirken, bei etwas stärkeren Strömen wird auch die Öffnung reizen und zwar an der Anode, es wird aber immer noch die Richtung ziemlich gleichgültig sein, insofern als die elektrotonischen erregbarkeits- und insbesondere leitfähigkeitsändernden Wirkungen, die natürlich auch dem Reizstrom selbst sofort beim Entstehen (s. o.) zukommen, noch nicht genügend ausgesprochen sein werden. Erst wenn er noch stärker ist, wird die Anode zur blockierenden Wirkung kommen, also die durch die Schliessung erzeugte Erregung von der Kathode nicht zum Muskel gelangen können, wenn eine Anode dazwischen, d. h. näher dem Muskel ist, der Strom also aufsteigend (\uparrow) ist. Die in diesem Fall von der Anode ausgehende Eröffnungserregung gelangt natürlich ungehindert zu dem benachbarten Muskel. Mit anderen Worten, wir haben bei aufsteigendem Strom nur Öffnungszuckung. Umgekehrt wird die bei der Öffnung an der Kathode sofort auftretende Leitungsunterbrechung (s. oben) der von der Anode ausgehenden Eröffnungserregung den Weg zum Muskel versperren, wenn diese zentralwärts, die Kathode unten am Muskel liegt, der Strom also absteigend \downarrow ist; dagegen wird die Schliessungs-

erregung von dieser Methode ohne weiteres zum Muskel gelangen können. Wir haben also bei absteigendem Strom nur Schliessungszuckung und können das ganze „Zuckungsgesetz für das Nerv-

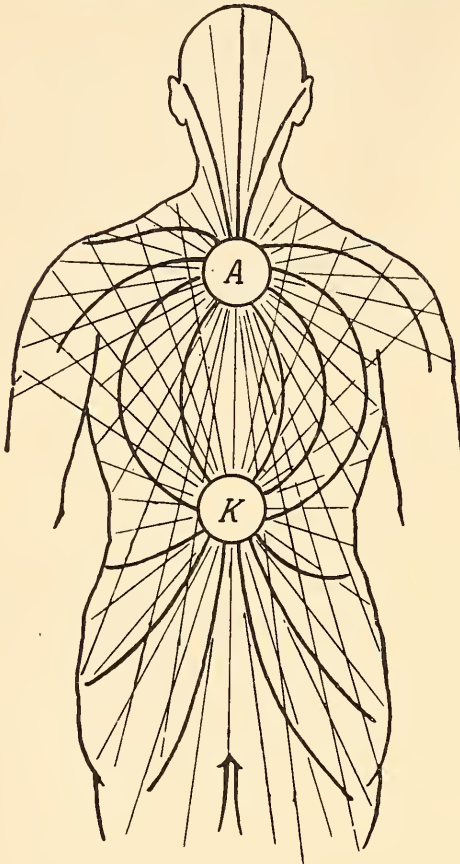


Fig. 66.

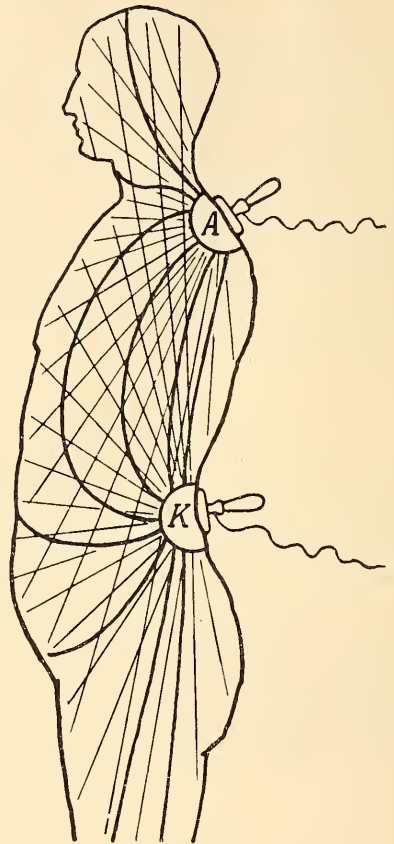


Fig. 67.

muskelpreparat vom Frosch“ nach Pflüger leicht in folgender Tabellenform abschreiben:

	Aufst.	Abst.
Schwach	S —	S —
Mittel	S Ö	S Ö
Stark	— Ö	S —

69. Durchströmung des unversehrten Körpers.

Wesentlich abweichend müssen sich, wie schon angedeutet, die elektrischen Reizeffekte darstellen bei Durchströmung des unversehrten tierischen oder menschlichen Körpers. Legt man hier an zwei beliebigen Stellen Elektroden von geringem Querschnitt an, so würden, falls der Körper ein homogener Elektrolyt wäre, die Stromlinien sich leicht konstruieren lassen, indem man von den Elektrodenpunkten

fächerförmig die geradlinigen Wanderungstendenzen der Ionen ausstrahlen lässt und die wirklichen Wege als Diagonalen der durch die Kreuzung jener entstehenden Kräfteparallelogramme einträgt (Fig. 66 und 67, nach Frankenhäuser). Jedenfalls ist nun wirklich die Stromdichte (dementsprechend die Reizwirkung) am grössten in der Nähe der Elektroden, und man verfährt in der Elektrodiagnostik und Elektrotherapie stets derart, dass man nur die eine Elektrode, welche man unmittelbar über dem zu behandelndem Organ auf die Haut setzt, von kleinem Querschnitt nimmt, die andere dagegen, welche auf den Rücken, das Gesäss usw. zu liegen kommt und keine Wirkung ausüben soll, von sehr grossem Querschnitt, also als Platte von grosser Oberfläche konstruiert; die erstere heisst die differente,

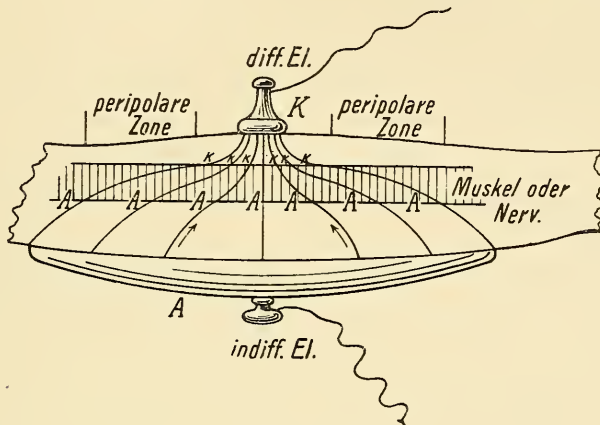


Fig. 68.

letztere die indifferente Elektrode; die Stromdichte ist hier zu gering, um wirksam zu werden. Man nennt diese Reizmethode die polare, weniger gut unipolare oder monopolare.

Nehmen wir nun zunächst an, dass das unmittelbar unter der Hautstelle, welcher die differente Elektrode anliegt, befindliche Organ (Muskel oder Nerv) mit dem übrigen Körper homogen sei, so wird die Durchströmung desselben im wesentlichen von der differenten Elektrode aus in Fächerform erfolgen, so dass also auf der dieser zugekehrten Seite nahe beieinander lauter gleichnamige Stellen dicht beieinander liegen, — wenn es eine Anode ist, lauter Eintrittsstellen der Stromfäden, wenn es eine Kathode ist, lauter Austrittsstellen des Stromes, auf der abgekehrten Seite aber lauter ungleichnamige Stellen —, wenn die differente Elektrode eine Anode ist, lauter Austrittsstellen, wenn sie eine Kathode ist, lauter Eintrittsstellen: man bezeichnet letztere als virtuelle, auch sekundäre oder physiologische Elektroden (virtuelle Kathoden, virtuelle Anoden), im Gegensatz zu dem auf-

gesetzten Pol als der reellen, primären Elektrode. Die „virtuellen Elektroden“ der Stromfäden liegen weiter auseinander, die Dichte ist hier geringer, sie sind aber für von der reellen Elektrode entferntere Punkte, wie die Figur 68 leicht erkennen lässt, geradezu allein vorhanden; da sie ausserdem das entgegengesetzte Vorzeichen haben, wie die reelle Elektrode, erklären sie den lange Zeit unerklärlichen Befund (Ziemssen, Erb u. a.), dass bei Prüfung der elektrotonischen Erregbarkeitsänderungen am Nerven in situ die Pflügersche Regel anscheinend sich umkehrt: man findet um die aufgesetzte Anode herum in der sogen. peripolaren Zone gesteigerte Erregbarkeit, die aber in Wirklichkeit von den virtuellen Kathoden herrührt, und um die aufgesetzte Kathode herum verminderte Erregbarkeit, welche in Wirklichkeit von den virtuellen Anoden herrührte: Durch diese Erklärung der scheinbaren Paradoxie des Elektrotonus am lebenden Menschen haben sich A. D. Waller und de Watteville¹⁾ ein bedeutendes Verdienst erworben.

70. Zuckungsgesetz der Elektrodiagnostik; peripolare und tripolare Reizung.

Für die Formulierung des sogen. Zuckungsgesetzes der Elektrodiagnostiker ist aber die Hereinbeziehung des Elektrotonus gar nicht nötig, wie etwa für die dritte Stufe des Pflügerschen Zuckungsgesetzes für das Nervmuskelpräparat vom Frosch, da es bis zur Leitungsunterbrechung niemals kommt. Nach dem allgemeinen Erregungsgesetze wird man bei der geringsten Stromintensität, die hier stets in Milliampère angegeben wird, eine Zuckung bei der Schliessung des Stromes erwarten, wenn die aufgesetzte differente Elektrode Kathode ist; bei Verstärkung des Stromes wird man weiterhin auch Zuckung bei der Öffnung des Stromes erwarten und zwar dann, wenn die aufgesetzte Elektrode Anode ist. Bei noch stärkerem Strom wird dann die Dichte auch für die virtuellen Elektroden genügend, um Reizwirkungen auszuüben, zuerst für die virtuellen Kathoden, welche gegenüber der reellen Anode liegen und zwar bei der Schliessung des Stromes, so dass wir eine (scheinbare) Anodenschliessungszuckung bekommen, zuletzt auch für die virtuellen Anoden, welche gegenüber der reellen Kathode liegen und zwar bei der Öffnung des Stromes, so dass wir eine (scheinbare) Kathodenöffnungszuckung bekommen. Derartig starke Ströme erzeugen meist von der Kathode aus schon Dauerkontraktion (sogen. Kathodenschliessungstetanus), vergl. oben:

¹⁾ Thèse von de Watteville. London 1883; Philosophical Transact. 1882.

Alle diese Muskeltetani (vom Nerven aus) hat man wohl darauf zurückgeführt, dass der Katelektrotonus die Erregbarkeit des Nerven derartig steigert, dass die stets vorhandenen, aber für gewöhnlich nicht wirksamen (unterhalb der Schwelle befindlichen, subliminalen) Reize, welche in Schwankungen des Stoffwechsels usw. bestehen, nun wirksam werden.

Die Formel des normalen Zuckungsgesetzes der Elektrodiagnostiker wäre demnach mit steigender Stromstärke:

$$\text{NB} \left\{ \begin{array}{l} \text{K S Z,} \\ \text{A Ö Z,} \\ \text{A S Z,} \\ \text{K S T,} \\ \text{K Ö Z.} \end{array} \right.$$

Indessen sieht man sehr häufig — es kommt auf den untersuchten Muskel resp. Nerven an — die Anodenschliessungszuckung auch schon bei gleicher Stromstärke oder selbst noch früher auftreten als die Anodenöffnungszuckung und zwar aus folgenden Ursachen:

Die spezifisch erregbaren Gebilde, Muskel und Nerv, mit ihrem fibrillären Bausetzen der Querdurchströmung einen vielemal grösseren Widerstand entgegen als der Längsdurchströmung (L. Hermann), indem die der Länge nach konzentrisch angeordneten „Membranen“ oder Grenzschichten mit ihrer Halbdurchlässigkeit für Salze resp. bestimmte Ionen nach Art der Polarisation wirken; es werden somit die Stromfäden aus der reellen Elektrode entweder gar nicht in den Muskel oder Nerven eintreten, oder aber einmal eingetreten, ihn im grössten Teil seiner Länge oder ganz durchlaufen und erst an den Enden (oder Umbiegungs- oder Verzweigungsstellen beim Nerven) wieder verlassen: liegt also z. B. einem Muskel oder einer Nervenstrecke eine Anode in situ in der Mitte auf, so wird man an jedem der beiden Enden eine virtuelle („physiologische“) Kathode haben, wo die Stromfäden also aus dem Organ austreten und zur indifferenten Elektrode weitergehen (Figur 69): ein Verhalten, welches einer länger bekannten Reizmethode am ausgeschnittenen Organ analog ist, wo die eine Elektrode Gabelform hat, so dass zwei Zinken demselben angelegt werden und dazwischen nur einem Punkte die andere Elektrode anliegt: peripolare (Filehne) oder tripolare (Setschenow und Schaternikow) Reizmethoden (Fig. 70). Hier ist die gabelförmige Elektrode die wirksamere und etwaige elektrotonische Wirkungen der mittleren werden ganz ausgeschaltet; bei der polaren Reizmethode am Menschen oder Tier dagegen ist denn doch die Dichte an der reellen Elektrode meist grösser, ausserdem wird diese meist (siehe den Abschnitt: Elektrodiagnostik) über der reizbarsten Stelle des Muskels aufgesetzt: immerhin aber kann die scheinbare Anodenschliessungszuckung, d. h. die Schliessungs-

wirkung von den „peripolaren“ virtuellen Kathoden doch schon bei gleicher Stromstärke oder selbst früher auftreten als die echte reelle Anodenöffnungszuckung.

Auf Abnahme der Erregbarkeit an der Nerveneintrittsstelle oder auch Schädigung der intramuskulären Nerven, wodurch die peripolaren virtuellen Kathoden noch früher wirksam werden als die reelle Kathode in der Mitte, hat man die Umkehrung der Zuckungsformel am entartenden Muskel zurückzuführen gesucht: siehe hierüber das nächste Kapitel.

Wo die differente Elektrode aufgesetzt werden muss, um am intakten Menschen oder Tier den einzelnen Muskel, motorischen resp. sensiblen Nerven zu reizen, diese wesentlich anatomische Frage wird in dem Abschnitt „Elektrodiagnostik“ kurz erörtert werden.

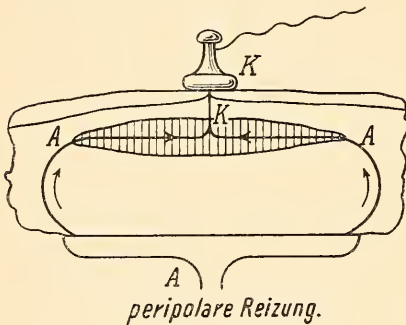


Fig. 69.

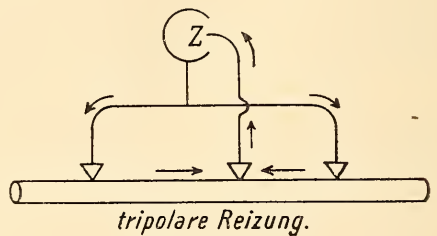


Fig. 70.

Hier muss nur noch einiges über die elektrischen Reizeffekte an den Sinnesorganen, dem Zentralnervensystem, sowie einigen drüsigen Organen erledigt werden.

Natürlich können nur die am intakten Menschen resp. Tier zu erhaltenden Reizerfolge hier berücksichtigt werden; was an allen einzelnen Organen nach Freilegung im vivisektorisches Tierversuch bei Reizung zu beobachten ist, das speziell zu schildern gehört in ein Lehrbuch der Experimentalphysiologie.

71. Elektrische Reizeffekte an verschiedenen Organen.

Durch Aufsetzen der einen Elektrode im Nacken, der anderen in der Nähe des Auges kann man den konstanten Strom durch das Sehorgan leiten: Der so Behandelte empfindet Lichtblitze beim Schliessen und Öffnen des Stromes und zwar ist die Empfindung stärker bei der Schliessung, wenn der Strom im Sehnerven in der Richtung nach dem Gehirn (\uparrow aufsteigend), stärker bei der Öffnung, wenn er in der Richtung nach dem Augapfel (\downarrow absteigend) fließt (Helmholtz).

Indessen widersprechen diese Ergebnisse nicht dem polaren Erregungsgesetz, wenn man bedenkt, dass die eigentlichen Aufnahmeelemente, die Stäbchen und Zapfen der Netzhaut, auf welche es ankommt (Schwarz,

G. E. Müller) mit ihren peripherischen Enden umgekehrt gerichtet sind, als die physiologische Leitungsrichtung im Sehnervenstamm (Skizze Fig. 71): es wird somit beim „aufsteigenden“ Strome an den „Aussengliedern“ der Stäbchen und Zapfen eine physiologische Kathode, beim „absteigenden“ eine physiologische Anode liegen und $KSBI > AÖBI$ sein. Ausserdem erscheint während der Dauer des Stromes das Gesichtsfeld (bei einseitiger Anlegung der Elektrode die der kathodischen Netzhauthälfte entsprechende Gesichtsfeldhälfte) heller und bläulich (die anodische Seite grünlich) und es werden individuell äusserst verschiedene, oft phantastisch beschriebene Farbenercheinungen (Purkinje) empfunden, ähnlich wie diejenigen bei Druck auf das Auge.

Setzt man die differente Elektrode eines genügend starken Stromes auf die Gehörsgegend, so hört man beim Schliessen des Stromes

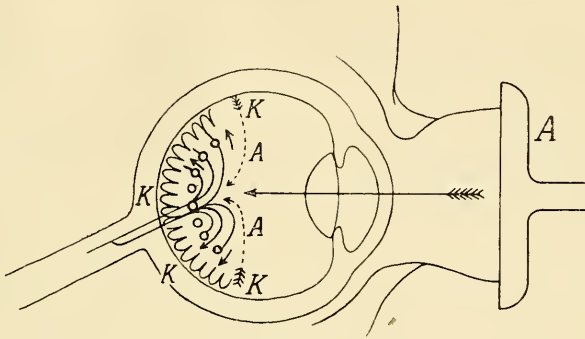


Fig. 71.

Schema der Durchströmung der Netzhaut.

Ausgezogene Pfeile: Richtung des positiven Stromes.

Punktierte Pfeile: Richtung der Nervenleitung von den Stäbchen und Zapfen nach dem Sehnerv.

Die physiologischen Kathoden K K K liegen in der Stäbchen- und Zapfenschicht.

ein Klingen, wenn dieselbe Kathode ist, bei Verstärkung des Stromes ferner ein ganz ebensolches Klingen bei der Öffnung, wenn dieselbe Anode ist (Brenner).

$$KSKI > AÖKI.$$

Während der Stromesdauer ist etwas bestimmtes nicht nachweisbar und damit die Erklärung, dass es sich um den Eigenton des Ohres handle, welcher durch elektrotonische Erregbarkeitssteigerung gehört werde, kaum zulässig.

Legt man die Anode eines konstanten Stromes an die Zunge, so wird während der ganzen Dauer des Stromes ein saurer Geschmack empfunden, schon bei Strömen, welche noch keinen gewöhnlichen Empfindungsnerven erregen; legt man die Kathode an, so wird ein alkalischer Geschmack empfunden; nach der Stromöffnung empfindet man bisweilen auf kurze Zeit einen umgekehrten Nachgeschmack. Die Geschmacksquali-

täten bleiben die gleichen auch bei Zuleitung durch einen Elektrolyten; bildet z. B. ein Becher alkalischen Wassers, in welchen die Zungenspitze getaucht wird, die Anode, so hat man dennoch einen sauren Geschmack (Alessandro Volta).

Man hat sich gestritten, ob der „elektrische Geschmack“ von der Durchströmung der Nervenstämme (Rosenthal) oder Endapparate (Hermann mit Jürgens und Laserstein) herühre und ob von deren spezifischer Energie, allgemein der Assimilation oder Dissimilation, oder von elektrolytischen Produkten, d. h. also ausgetretenen Ionen; letzteres kann jetzt als ziemlich sicher gelten, nachdem Nernst und v. Zeynek¹⁾ gezeigt haben, dass der Geschmack mit der Spannung sich ändert (an der Anode vom Salzigen durchs Saure zum Herben), entsprechend der „Zersetzungsspannung“ der einzelnen Salze der Mundflüssigkeit resp. des Speichels.

Auch Geruchsempfindungen, allerdings recht undefinierter Art (phosphorartig, Ozon?) macht der Strom: füllt man die Nasenhöhle mit körperwarmem Kochsalzwasser und taucht die eine Elektrode ein, so hat man Geruchsempfindung bei der Schliessung, wenn sie Kathode, bei der Öffnung, wenn sie Anode ist (Aronsohn u. a.).

Auf die Durchströmung des Gehirns hat man meistens die Erscheinungen bezogen, welche auftreten, wenn die Elektroden auf beiden Seiten des Schädels angelegt werden; es ist dies beim Menschen Schwindelgefühl in dem Sinne, als ob die Aussenwelt sich von der Anodenseite zur Kathodenseite bewege und dementsprechend Gegen drängen, Kopfnneigen, bei Tieren unter Anwendung starker Ströme geradezu echte „Zwangsbewegungen“ nach der Anodenseite — „galvanischer Schwindel“, Purkinje, Hitzig, Strehl —; auch Schwanke der Augäpfel — „Nystagmus“ — tritt auf, Mitgehen nach der Kathodenseite, gefolgt von ausgiebiger Drehung nach der Anode zu, rhythmisch bis zu sehr hohen Frequenzen.

Von manchen Forschern (Ewald, Breuer, Jensen) sind diese Erscheinungen wesentlich auf die Durchströmung des „Vestibularapparates“ (Bogengänge und Utriculus) im Ohrlabyrinth bezogen worden, welcher ja als „statischer“, resp. bewegungsempfindender Sinn der Erhaltung des Gleichgewichtes mitdient, wesentlich auf Grund der Erfahrungen an labyrinthlosen Tauben, bei welchen die Gegenbewegungen ausbleiben sollen. Beim Menschen, wo die Bedeutung des Vestibularapparates für die Orientierung gegenüber dem Gesichts-, Haut- und Muskel-, Gelenks- usw. -Sinn sehr zurücktritt, dürfte aber die Beziehung des galvanischen Schwin-

1) Zentrabl. f. Physiol., Bd. 12, 1898.

dels im wesentlichen auf die Durchströmung des Gehirns zu Recht bestehen.

Natürlich sind bei allen Elektrisierungsversuchen an den Sinnesorganen Reflexwirkungen sehr schwer auszuschliessen; noch mehr gilt dies für die Beeinflussung der Eingeweidefunktionen bei der Stromanwendung am unversehrten Körper; insbesondere für das Herz, die Magen-, Darm- und Blasenbewegungen gilt das ja schon für die direkte Durchströmung der blossgelegten Organe; immerhin sind die Effekte hier wesentlich motorische, resp. hemmende, event. direkt schädigende (s. nächste Abschnitte). Für die sekretorischen Funktionen vollends aber lässt sich gar nichts sagen und es erscheint nach den neuesten Forschungen als sicher, dass die angebliche Einleitung von Magensaftsekretion durch eine mit der Schlundsonde eingeführte Elektrode, vermehrte Harnsekretion auf Applikation des Stromes in der Nierengegend u. ä. die reinen Illusionen sind.

72. Angebliche Reizeffekte des elektrischen und magnetischen Feldes.

Wegen etwaiger Beeinflussung der Rückenmarksfunktionen siehe den Abschnitt „Elektrotherapie“, — desgleichen kann erst dort genauer besprochen werden, welche besonderen physiologischen Wirkungen man Strömen besonders hoher Spannung und Stromschwankungen besonderer Form und Frequenz, zu Recht oder Unrecht, zuschreibt. Was allgemein die erregenden Wirkungen des elektrischen und magnetischen Feldes betrifft, so müssen dem elektrostatischen Felde solche durchaus abgesprochen werden; ein in völlig trockener Luft etwa auf einem Isolierschemel auf ein hohes Potential geladenes Individuum empfindet (soweit nicht Ausströmen der Elektrizität an den Haaren — Spitzenwirkung — usw. in betracht kommt) nichts und ein so behandeltes Nervmuskelpräparat bleibt in Ruhe.

Anders mit dem magnetischen Felde: Veränderung der das lebende Gebilde schneidenden magnetischen Induktionslinien kann erregen, sobald sie stark genug wird; es ist gelungen, in Nervenschlingen genügend starke Induktionsströme zu erzeugen, um mit den Nerven zusammenhängende Muskeln zum Zucken zu bringen (Hermann und Gildemeister). Viel Mühe hat man sich gegeben, durch die wellenförmig sich fortpflanzenden elektrischen Schwingungen Nervmuskelpräparate zu erregen; vielfach handelte es sich um die Wirkungen des Ausgleiches einfach durch Influenz entstandener Potentialdifferenzen (Charpentier, ältere Versuche von B. Danilewsky¹⁾); indessen kann eine „Fernwirkung“ des Hertz'schen Feldes, „Elektrokinesis“, jetzt wohl kaum geleugnet werden und

¹⁾ Archives de physiologie 1898; vergl. dagegen Jacques Loeb in Pflügers Archiv, Bd. 67, S. 483; Bd. 69, S. 99; 1898.

es scheinen die Effekte der neueren Anordnungen von B. Danilewsky¹⁾ und Radzikowsky²⁾ im übrigen den Gesetzmässigkeiten bei der Durchströmung in geschlossener Kette durchaus zu entsprechen; die Zuckungen z. B. haben den Charakter derjenigen auf steile Stromschwankungen usw.

Wie weit hier Grundlagen für eine theoretische Begründung der „elektromagnetischen Therapie“ gegeben sind, wird später kurz erledigt werden.

¹⁾ Die physiologischen Fernwirkungen der Elektrizität. Leipzig 1902; Pflügers Archiv, Bd. 107, S. 452; 1905.

²⁾ Travaux des Instituts Solvay. Bruxelles 1904.

Sechster Abschnitt.

Elektropathologie.

73. Grundlagen der Schädigungen durch Elektrizität.

Wir beschreiben unseren am Beginn des vorigen Abschnittes gegebenen Auseinandersetzungen gemäss hier zuerst schädigende (krankmachende, pathogene) Wirkungen der Elektrizität, an zweiter Stelle dann die veränderten bioelektrischen Erscheinungen sowie Effekte elektrischer Reizung an erkrankten (pathologischen) Organen.

Die pathogenen Wirkungen der Elektrizität müssen eingeteilt werden in anatomische und funktionelle, in lokalisierte — Schädigungen einzelner, direkt betroffener Organe — und allgemeine, den Gesamtkörper betreffende. Deren Maximum ist der Tod durch Elektrizität; ferner in primäre, sofort nachweisbare, und sekundäre, später, im Laufe der Zeit erst auftretende.

Die Beobachtung von Schädigungen einzelner innerer Organe sind jüngsten Datums, seitdem häufigere Obduktionen Blitzgetöteter oder der Opfer von Unfällen durch Starkströme stattgefunden haben. Länger bekannt sind die Beschädigungen der äusseren Haut — die unten zu erwähnenden Blitzfiguren, sowie Verätzungen, wie sie gelegentlich bei Anwendung stärkerer Ströme zu diagnostischen oder therapeutischen Zwecken vorgekommen und von Remak, v. Ziemssen und anderen beschrieben worden sind. Es sind dies also „elektrolytische“ Schädigungen, die im Lichte der modernen Anschauung durch „sekundäre Prozesse“ (S. 57) an den Elektroden zustande gekommen sind. Zu ihrer Verhütung ist, wie schon von jeher betont wurde, Umhüllung der Kohlen- oder Metallelektroden mit dichter, gut angefeuchteter

Masse (Schwamm, mehrere Lagen Stoff) dringend anzuraten, eventuell unpolarisierbare Elektroden, so dass Eindringen schädlicher Ionen, resp. sekundäre chemische Reaktionen nach Möglichkeit vermieden werden. Freilich wird die Verätzung doch eintreten, sobald mit Verwendung einer hohen EMK die betreffende Zersetzungsspannung innerhalb des betreffenden Organs (z. B. der Haut) vorhanden ist. Dies sucht man absichtlich zu erreichen zum Zwecke der elektrolytischen Zerstörung von pathologischen Wucherungen bezw. Geschwülsten. Mit Rücksicht auf solche Zwecke ist auch die Verätzung resp. elektrolytische Zerstörung verschiedener Gewebe und Organe im toten Zustande, wie im Tierversuch blossgelegt, experimentell untersucht worden, so von Eschle¹⁾. Die wichtigsten so erhaltenen Ergebnisse sind selbstverständlich: bei genügenden Spannungen tritt an den eingestossenen Nadelelektroden Entwicklung von Gasblasen auf, und zwar an der Kathode in weit stärkerem Masse — Wasserstoff, doppeltes Volumen, gegenüber dem Sauerstoff an der Anode (einfaches Volumen), welcher ausserdem in statu nascendi oxydierende Wirkungen ausübt. Infolge der sekundären Wasserzersetzung durch die Metallionen kommt es, auch soweit nicht Gas entwickelt wird, natürlich an der Kathode zu alkalischer (freie OH-Ionen), an der Anode zu saurer (freie H-Ionen) Reaktion mit der charakteristischen Wirkung der Laugen, resp. Säuren auf die Eiweisskörper der Gewebe, wie sie die Toxikologie kennt: an der Kathode Abtötung durch Verflüssigung (Lösung des Eiweiss zu „Alkali-eiweiss“, „Kolloquationsnekrose“), an der Anode Abtötung durch Gerinnung (Fällung als Säureeiweiss oder „Koagulationsnekrose“).

Infolge dessen lässt sich die kathodische Nadelelektrode nach Durchgang des Stromes leicht aus dem Gewebe herausziehen und erscheint blank, während die anodische fest in dem verhärteten Gewebe steckt und mit einer Oxydschicht überzogen ist. Man hat ferner die Veränderungen in den einzelnen elektrolysierten Organen und Geweben (Muskeln, Niere, Hoden usw.) makroskopisch und mikroskopisch genauer untersucht und beschrieben; meist ist die feinere Struktur zerstört. Auf Einzelheiten einzugehen, ist hier nicht der Ort.

Dass dermassen elektrolytisch zerstörte Gewebe resp. Organe nicht mehr funktionieren, ist selbstverständlich; hierher gehört auch die neuerdings umstrittene (Hermann, Cremer) berühmte Rollettsche Beobachtung, dass die roten Blutkörperchen beim Durchleiten starker elektrischer Schläge durch Blut aufgelöst — das Blut „aufgehellt“ oder, wie die Physiologen bisher sagten, „lackfarbig“ gemacht wird; ferner diejenige Hermanns, dass starke Ströme in isolierten markhaltigen Nervenfasern einen eigentümlichen Transport und Herausquellen des Myelins in der Stromrichtung hervorrufen. Zu funktionellen Schädigungen einzelner

1) Virchows Archiv für patholog. Anatomie, Bd. 138, S. 371; 1894.

isolierter Organe gehört auch die im vorigen Abschnitt erwähnte „depressive Kathodenwirkung“ am Nerven, ferner das „galvanische Wogen“ stark durchströmter Skelettmuskeln, welches auf eine Leitungsstörung in den Muskelfasern zurückführbar scheint, ebenso wie das, im übrigen davon zu unterscheidende „Flimmern“ des Herzens (wühlende, unregelmässig lokalisiert bleibende Kontraktionen statt der wohlgeordnet ablaufenden „Systole“ [Zusammenziehung] der ganzen Herzabteilung oder -Kammer). Wir werden sehen, dass letzteres eine wichtige Rolle bei elektrischen Tötungen spielt.

74. Der Tod durch Elektrizität.

Über die Bedingungen, Ursachen (Ätiologie) und anatomischen Veränderungen bei diesen letzteren herrschte lange völliges Dunkel, das auch jetzt noch nicht völliger Klarheit in allen Punkten gewichen ist, trotz eifriger Arbeiten, aus deren Literatur vor allem die zwei Monographien von Kratter¹⁾ und Jellinek²⁾, sowie viele Veröffentlichungen der Genfer Forscher J. L. Prévost und F. Battelli³⁾ erwähnt seien.

75. Blitzschlag und Starkstrom.

Zu erwähnen sind hier zunächst die Folgen des Blitzschlages, einer kurzdauernden, den Entladungen elektrostatischer Maschinen im grossen analoge Elektrizitätsbewegung von sehr hoher Spannung und nicht unbeträchtlicher Stromstärke, welche die Länge und bedeutende mechanische Kraftwirkung des „Funkens“ (Ausgleich durch sich erhitzen und leuchtende Gase) erklärt. Oft zersplittert der Blitz Bäume,

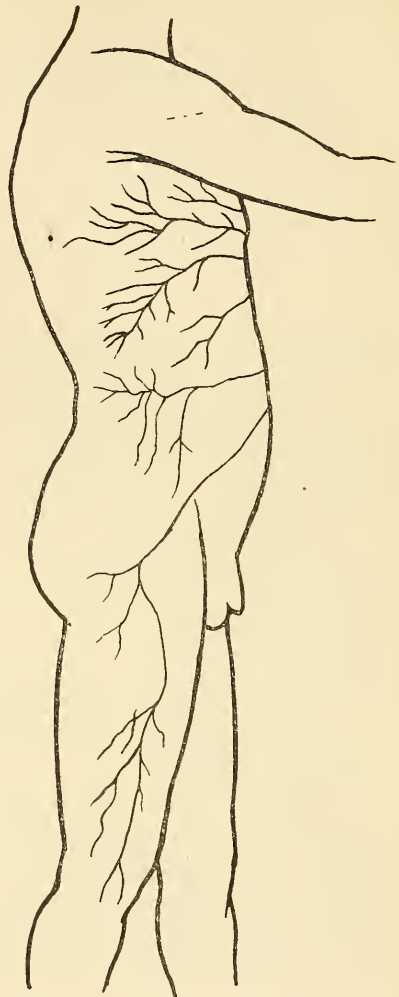


Fig. 72.

Blitzfiguren auf dem Körper eines vom Blitz erschlagenen Mannes nach Rindfleisch (Virchows Archiv für pathol. Anatomie, Bd. 25. S. 417; 1862).

¹⁾ J. Kratter, Der Tod durch Elektrizität. Leipzig und Wien, Denticke, 1896.

²⁾ S. Jellinek, Elektropathologie. Stuttgart, Enke, 1903.

³⁾ In den Comptes rendus de l'Acad. des Sciences, Bd. 128, 130; in dem Journal de Physiologie et de Pathologie générale 1899 und 1900; in der Revue médicale de la Suisse Romande derselben Jahrgänge und a. a. O. mehr.

Balken, Mauern usw., wobei es nicht immer durch die Joulesche Wärme zur „Zündung“ kommt. Dem entspricht auch, dass an vom Blitz getroffenen Menschen in sehr wechselndem Masse Verbrennungserscheinungen zu konstatieren sind; sie sind lokalisiert an der Ein- und Austrittsstelle, flächenhaft ausgedehnt oder baumförmig verzweigt — sog. Blitzfiguren, in deren Bereich es sich meist nur um leichte Hautentzündung („Erythem“, Verbrennung ersten Grades) handelt, siehe Fig. 72. Diese Hautverbrennungen gehen durchaus nicht parallel den funktionellen Wirkungen: Tod, Bewusstlosigkeit, Betäubung, vorübergehende oder bleibende Lähmung, da diese doch offenbar davon abhängen müssen, durch welche inneren Organe und in welcher Stärke und Spannung die Elektrizität im einzelnen Falle hindurchgegangen ist. Daher die grosse Mannigfaltigkeit der Blitzschlagwirkungen.

Genau das gleiche gilt natürlich für Schädigungen durch die Starkströme der Technik, nur dass hier die Bedingungen viel klarer, durchsichtiger und durch experimentelle Nachprüfung in ihrer Bedeutung der Untersuchung zugänglicher sind.

Dementsprechend beruht die folgende Darstellung auch teils auf der Beobachtung solcher Unfälle (Kasuistik), teils auf Experimenten der oben erwähnten und anderer Autoren, teils endlich auf Überlegungen, welche auf Grund der theoretischen Darlegungen der bisherigen Abschnitte als selbstverständlich einleuchten werden.

76. Bedeutung der Stromstärke, Spannung und (bei Wechselstrom) Frequenz.

Selbstverständlich spielen die (z. B. von der Zentrale) in Bewegung gesetzten Elektrizitätsmengen als solche und die dazu verbrauchte Arbeit, d. h. also die in der Leitung ohne den tierischen oder menschlichen Körper vorhandene Intensität und (Klemm- oder Gesamt-) Spannung eine wichtige Rolle. Dazu kommt die Frage, ob Gleichstrom oder Wechselstrom, und wenn Wechselströme, welches die Periodenzahl. Die in der Technik gewöhnlichste Wechselzahl von 50 in der Sekunde ist eine physiologisch sehr günstige „Reizfrequenz“, und bei genügend grossen Intensitäten und Spannungen ebenso sehr „pathogen“, d. h. gefährlich, zumal wenn sehr hohe Spannungen (bis 10000 Volt) angewendet werden, um auf diese Weise grosse Energiemengen auf weite Entfernungen ökonomisch zu übertragen. Zum Schutz der Menschen vor der Berührung, ja selbst Annäherung (Funkenlänge!) an solche Leitungen sind ganz besondere Sicherheitsmassregeln erforderlich und auch gesetzlich vorgeschrieben. Andererseits können bei sehr geringen Quantitäten recht hohe Spannungen erreicht werden ohne besondere Gefahr (elektrostatische Maschinen), und endlich sind sehr hochfrequente Wechselströme, wie schon erwähnt worden, ungefährlich: — so die „Teslaströme“, weil die Ionen-

verschiebungen in dem elektrolytisch leitenden menschlichen Körper, gar an den „semipermeablen Membranen“ oder protoplasmatischen Grenzschichten (S. 92) solche schnelle Rhythmen gar nicht mitmachen können, also immer nur Teile der gesamten Potentialschwankungen den Körper betreffen. Es ist nicht ganz richtig, wenn man gesagt hat, dass derartige Hochfrequenzströme nur an der Oberfläche des menschlichen Körpers bleiben und gar nicht in ihn eindringen (Radzikowski u. a.), ebenso wie die Betrachtung desselben als „Kapazität“ viel mehr in den Hintergrund treten muss, als einige Autoren¹⁾ neuerdings wollen; er ist eben kein Leiter erster Klasse und nicht homogen.

77. Bedeutung der Elektrodenlage.

Weiterhin kommt aber auf Lage und Beschaffenheit der Eintritts- und Austrittsstelle von Starkströmen in den menschlichen Körper **enorm** viel an. Es kann nicht gleichgültig sein, ob mit einem Punkt des Körpers die Hin- und mit dem anderen die Rückleitung des Stromes berührt wird, was natürlich „Nebenschluss“ oder „Kurzschluss“ durch den Körper zur Folge hat, oder ob nur eine Berührungsstelle da ist. Im letzteren Falle wird alles auf die Leitungsverhältnisse zwischen dem Körper des Betroffenen und der Erde ankommen. Der Generator (Dynamomaschine) kann meistens als von der Erde nicht gut isoliert angesehen werden; infolgedessen wird in dem Körper eines die Leitung auch nur an einem Punkte berührenden Menschen ein mehr oder weniger grosser Teil des gesamten Potentialgefälles statthaben, wenn er mit der Erde in gutleitender Verbindung steht, wogegen Isolierung von derselben mehr oder weniger vollständig schützt.

So wird jemand verunglücken, welcher auf feuchtem Erdboden, den Schienen einer Eisenbahn usw. stehend eine Starkstromleitung berührt, wogegen trockener Sand, trockener Dielenboden, gut trockene Beschuhung, besonders Gummischuhe mehr oder weniger schützen werden.

Die Monteure der elektrischen Strassenbahnen können, auf ihren hohen, vom Erdboden isolierten Reparaturwagen stehend, ruhig an den Oberleitungen während des Betriebes arbeiten.

Sonst können Isolierhandschuhe, das Arbeiten mit Isolierzangen usw. schützen. Schon der Zustand der Haut — Trockenheit, Feuchtigkeit, die Grösse der Berührungsfläche ist von Bedeutung, näheres gleich weiter unten.

Die (topographisch-anatomische) Lokalisation der Strom-Ein- und -Austrittsstelle ist natürlich von der allergrössten Bedeutung, insofern es von ihr abhängt, welche Organe durchströmt werden, resp. welchen Anteil an den Stromlinien sie bekommen (vergl. die Figuren 66 und 67, S. 96): Durchströmung von einer Hand zur andern

¹⁾ Dubois, v. Metz, Kurella u. a. — Die theoretischen Gründe, welche Hermann neuestens (Pflügers Archiv, Bd. 109, S. 130) veranlasst haben, die Kapazität von Nerven zu messen, werden von dieser Bemerkung nicht berührt.

wird das Gehirn viel weniger in Mitleidenschaft ziehen als vom Kopf zu den Füßen: Man begreift, dass wenn z. B. Strom-Ein- und Austrittsstelle sehr nahe aneinander liegen, ausserdem an beiden Stellen der Hautwiderstand enorm ist (vergl. S. 84) im Vergleich zu dem Widerstand der inneren Organe, so dass in diesen das Potentialgefälle viel niedriger ist als die Klemmspannung der Maschine — dass dann auch Berührungen mit an sich gefährlichen Stromleitungen harmlos ablaufen können.

Es könnte unter Umständen auch umgekehrt ein kleiner Anteil einer an sich ungefährlichen Hochspannung auf diese Weise gefährlich werden. Vergl. unten die Angaben von Prévost und Battelli.

78. Bedeutung der Tierart. Atmung und Herz. Obduktionsbefunde.

Aber selbst in Versuchen, in denen man sich bemühte, diese Bedingungen möglichst konstant zu erhalten (Elektroden gleichen Querschnitts — „Stromdichte“ — an Mund- und Afterschleimhaut z. B), wurden nach Tierart und Individualität oft sehr abweichende Ergebnisse erhalten.

Es sind auch dementsprechend alle älteren Angaben unrichtig, welche alle Tötungen durch den Strom durch einen und denselben Vorgang erklären wollten: d'Arsonval¹⁾, Biraud²⁾ Kratter³⁾ durch ausschliessliche Lähmung des Atemzentrums im verlängerten Mark und somit Stillstand der Atmung, Tatum⁴⁾ durch ausschliessliche Lähmung des Herzens, endlich andere Autoren durch gleichzeitige Lähmung von Herz und Atmung. Es ist gerade das Verdienst von Prévost und Battelli gezeigt zu haben, dass bei gleicher Anordnung der Elektroden je nach Tierart, Art des Stromes — Gleich- oder Wechselstrom — und Spannung entweder das eine oder das andere stattfinden kann und dasjenige von Jellinek, dass dazu noch Schädigungen des gesamten Zentralnervensystems, als anatomische Läsionen erkennbar, sofort oder später ihren unheilvollen Einfluss geltend machen können.

Gleich- und Wechselströme verhältnismässig niedriger Spannung (bei kleinen Tieren schon mit 10, bei grossen etwa mit 100 Volt beginnend) lähmen die Herztätigkeit, indem die Kammermuskulatur flimmert, während die Vorhöfe weiter schlagen. Diese Lähmung der Herztätigkeit ist bei gewissen Tieren, vor allem Ratte und Kaninchen, vorübergehend, bei anderen bleibend; hierzu gehört der Hund⁵⁾, das Pferd (Jellinek) und wahrscheinlich auch der Mensch (F. Battelli)⁶⁾; es wird hier

1) Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Bd. 104, S. 978; 1887.

2) Thèse (Doktordissertation) Lyon 1892.

3) A. a. O.

4) New York medical Journal, Bd. 50, S. 1; 1890.

5) Dass bei diesem Tier Herzflimmern irreparabel ist, beim Kaninchen dagegen nicht, wussten die Physiologen schon lange.

6) Revue médicale de la Suisse Romande, 1899.

also die Atmung nicht oder nur vorübergehend unterbrochen werden, aber sie erlischt dann allmählich und das Individuum stirbt an primärer Herzlähmung!!

Höhere Spannungen (in den Tierversuchen von 220 Volt — Kaninchen — bis 550 Volt — Hund — an) erzeugen keine Herzlähmung (wenigstens kein Flimmern, nur vorübergehenden Stillstand der Vorhöfe durch Vagusreizung), hemmen dagegen die Atmung durch Einwirkung auf das nervöse Atemzentrum im verlängerten Mark (Medulla oblongata, „Kopfmark“). Diese Hemmung kann vorübergehen, so dass

nach Aufhören der Stromeinwirkung die Atembewegungen von selbst wieder einsetzen und das Tier, resp. der Mensch, zum Leben wieder zurückkehrt; und wo dies nicht von selbst erfolgt, kann Einleitung künstlicher Atmung¹⁾ sehr bald erfolgreich sein. Grosse Quantitäten freilich unter hoher Spannung, so die hochgespannten Wechselströme der Kraft-Fernleitungen (siehe oben) mit 1000—10000 Volt, im Tierversuch auch schon viel geringere, werden wie der Blitz als mechanische Effekte innere Läsionen setzen können, im Zentralnervensystem besonders die so verhängnisvollen Blutungen, von denen Figur 73 nach Jellinek ein Beispiel zeigt, und damit Lähmungen der Atmung und anderer Innervationsfunktionen des Zentralnervensystems (Rückenmark und Gehirn) setzen, welche irreparabel sind.



Fig. 73.

(Mikroskopisches Bild.)

Verästelter Blutaustritt in das Kopfmark eines durch Starkstrom getöteten Pferdes (nach Jellinek).

Es muss aber wiederholt werden: es kommt nicht so sehr auf die Klemmspannung des Stromes, wie ihn die Zentrale liefert, an, als vielmehr auf die Teilspannung in den betroffenen Organen: wird diese durch die Lage der Berührungspunkte, sowie die Widerstände der Haut, Kleidung, des Fussbodens (s. oben) klein im Verhältnis zur ersteren, so können Ströme mittlerer Spannung so wirken wie ein Versuch mit günstigster Zuleitung der niederen Spannungen, d. h. primären Herz-

¹⁾ Die Methoden dazu können hier nicht näher erörtert werden; dem Mediziner sind sie bekannt, der Laie findet sie in jeder „Anleitung zur ersten Hilfe bei Unglücksfällen“ genauer beschrieben.

tod veranlassen; hochgespannte Ströme brauchen nicht zu töten, indem die Atmung nur vorübergehend gelähmt wird, wenigstens durch Einleitung künstlicher Atembewegungen wiederherstellbar ist.

Nach dem soeben Auseinandergesetzten ist es verständlich, warum die in Amerika eingeführten elektrischen Hinrichtungen z. T. so unbefriedigende Ergebnisse zeigten: Es wurden zu hohe Spannungen — Wechselströme zwischen 1300 und 1700 Volt — angewendet und die vorübergehend gelähmte Atmung setzte von selbst wieder ein. Erst die dritte, vierte Stromapplikation hatte endgültig den Tod zur Folge.

Es ist ferner verständlich, dass in besonders unglücklichen Fällen Menschen schon bei sehr niedrigen Spannungen getötet worden sind: 90—115 Volt: es traf eben infolge guter Leitungsverhältnisse diese Spannung als solche das Herz und war genügend, es primär und definitiv zu lähmen.

Äusserst interessant, leider aber praktisch kaum anwendbar, ist die Beobachtung von Prévost, dass das durch niedere Spannung zum Flim-

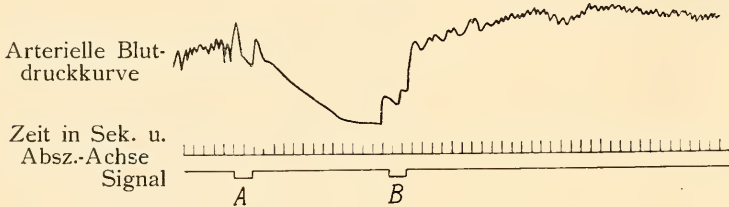


Fig. 74.

Nach Prévost und Battelli.

Ein erwachsener Hund wird zwischen Maul und After bei A 3 Sekunden lang mit 20 Volt gespannten Wechselströmen von 50 in der Sekunde Frequenz durchströmt: Flimmern des Herzens; bei B 2 Sekunden lange Durchströmung mit Wechselströmen von 4800 Volt; das Herz erholt sich rasch.

mern gebrachte Herz durch direkte Zuleitung hochgespannter Wechselströme wieder zu normalen Schlägen gebracht werden kann: Figur 74 zeigt eine dahingehende Blutdruckkurve vom Hund nach Prévost und Battelli. Es kann wohl von Anwendung dieses Mittels in der Unfallpraxis kaum mehr die Rede sein, als von den im Tierversuch gleichfalls wirksam befundenen künstlichen Durchspülungen des Herzens; am ehesten käme als letzter Rettungsversuch noch die mechanische (manuelle) „Herzmassage“ in Frage. Dieselben Autoren fanden übrigens, dass auch hochgespannte einzelne Induktionsschläge, sowie Kondensatorentladungen dieselbe wiederbelebende Wirkung auf das flimmernde Herz haben. Sie haben ferner nach der Abhängigkeit der tödlichen und schädigenden Wirkungen der Kondensatorentladungen von deren Dimensionen gesucht¹⁾ und gefunden, dass dieselben weder von der Spannung V allein, noch von der Elektrizitätsmenge $e = C \cdot V$ allein, sondern von dem Gesamtaffekt, der elektrischen Arbeit $A = \frac{1}{2} CV^2$ abhängig sind, welcher bekanntlich die Joulesche Wärme (wo keine äussere Arbeit geleistet wird) direkt entspricht. Die technische Einheit — Arbeit = Joulesche Wärme der Entladung oder

¹⁾ Journal de physiologie, Bd. 1, S. 1085, 1114; 1899.

Ladung einer Kapazität von 1 Mikro-Farad bei der Spannung von 1 Volt heisst 1 Joule = 0,102 mkg. Indem sie bis zu 1029 Joules gingen, fanden die Autoren ferner, dass mit einer Einzelentladung nicht alles (wenigstens bei grossen Tieren) erreicht werden konnte, aber bei mehreren Entladungen sich die schädigenden Effekte summierten: Sie unterscheiden hier 5 Phasen: 1. Reizwirkung, Muskelzuckung; 2. klonische Krämpfe; 3. Streckkrämpfe, vorübergehender Atemstillstand; 4. dauernder Atemstillstand, Hemmung der Vorhöfe; 5. völliger Herzstillstand, Aufhebung der Erregbarkeit der sympathisch innervierten glatten Muskulatur.

Prévost und Battelli haben endlich¹⁾ auch die Abhängigkeit der tödlichen Wirkung von der Frequenz einerseits und der Spannung andererseits der Wechselströme untersucht (Maschinen mit bis zu 1720 Wechsell in der Sekunde!). Sie fanden natürlich, dass je höher die Wechselzahl, um so höher man auch mit der Spannung (und damit bei konstantem Widerstand mit der Intensität) gehen muss, ohne aber aus ihren Kurven eine bestimmte Formel ableiten zu wollen, wie das für die Reizwirkung (Schwellenwert) von verschiedenen Autoren (Nernst und v. Zeynek, Einthoven, Wertheim-Salomonson u. a.) geschehen ist, mit sehr widersprechenden Ergebnissen. Die hochfrequenten Wechselströme resp. Schwingungen — d'Arsonval, Tesla — sind ja ungefährlich und nur durch die Dämpfung überhaupt wirksam, vergl. oben S. 37 und S. 88.

79. Muskelkrämpfe durch Starkstrom. Hilfe bei elektrischen Unfällen.

Praktisch äusserst wichtig bei elektrischen Unfällen sind natürlich die Reizerfolge am motorischen System, welche eben je nach Eintrittsstellen der Elektrizität, Spannung resp. Quantität usw. verschieden sein können: 1. klonische, d. h. zuckungsartige, unterbrochene, Krämpfe, die teils reflektorisch zustande kommen mögen, teils durch direkte Reizung des Zentralnervensystems, besonders des Gehirns; sie haben oft viel Ähnlichkeit mit denjenigen der Epileptischen (Fallsüchtigen); werden ja doch auch im Tierversuch bei der Reizung der „motorischen Felder“ der Grosshirnrinde nach Fritsch und Hitzig durch zu starke Reizung leicht typische epileptische Anfälle ausgelöst; 2. tonische (Streck-) Krämpfe durch direkte Tetanisation des gesamten motorischen Systems — Rückenmark, motorische Nerven und Muskeln; insbesondere wichtig ist die Kontraktion der Beugemuskeln der Hohlhandfläche, mit welcher der unglückbringende Leiter angefasst wurde, der nun krampfhaft festgehalten wird, so dass Ablösung des Verunglückten nur nach Abstellung des in dem Leiter kreisenden Stromes möglich werden kann. Versuche zu sofortiger gewaltsamer Loslösung müssen mit aller Vorsicht gemacht werden — Anfassen des Verunglückten an relativ isolierenden Kleidungs-

¹⁾ Journal de physiologie et de pathologie générale, Bd. 1, S. 399 und 427; 1899.

stücken, Schuhen usw., damit nicht auch noch der Retter der Starkstromwirkung unterliegt. Wo der Strom nicht sofort abgestellt werden kann, dürfte Durchtrennung des Leiters mit einer „Isolierzange“, wie sie z. B. Jellinek in seinem Buche beschreibt, zweckmässig sein, besonders wenn es sich um einen dünnen Draht handelt, z. B. Telephondraht, welcher mit einem Starkstromleiter in Berührung geraten ist und die Brücke zu dem Verunglückten bildet; hier genügt oft Verbindung desselben mit der Erde unter Anfassen mit einem isolierenden Zwischenmaterial, um ihn zum Verbrennen und Zerstäuben zu bringen.

Die erste Sorge bei einem elektrischen Unfall ist also jedenfalls die Aufhebung des Stromdurchganges durch den Verunglückten, die zweite sei die Einleitung der künstlichen Atmung (vergl. oben), die freilich unwirksam und nutzlos sein wird in den Fällen primärer Herzlähmung, hier aber dennoch, event. durch „Herzmassage“ unterstützt, fortgesetzt werden sollte.

80. Elektrische Unfallneurosen.

Wo der Tod nicht eintritt, beziehungsweise abgewendet werden konnte, haben Blitzschlag und Starkstrom aber vielfach die als sekundäre zu bezeichnenden, oft lange zurückbleibenden, oft auch erst allmählich sich ausbildenden Folgeerscheinungen, welche vorwiegend das Nervensystem in allen seinen Teilen betreffen können, als Lähmungen der Sinnesapparate — Taubheit, Blindheit, Unempfindlichkeit („Anästhesie“) der Haut usw., die sich meistens zurückbilden, als Lähmungen des motorischen Apparates, Sprachlähmungen („motorische Aphasie“), Lähmungen einzelner Extremitäten usw. Liegen diesen pathologischen Wirkungen der Elektrizität anatomische Läsionen zugrunde, so können sie dauernd bestehen bleiben und an organische resp. Systemerkrankungen des Nervensystems gemahnen. Es können später, bei etwaiger Obduktion Entartungen z. B. der hinteren weissen Stränge des Rückenmarks, ähnlich wie bei der „Rückenmarksschwindsucht“ (Tabes dorsalis, Ataxie locomotrice der Franzosen) gefunden werden. Weitaus häufiger aber sind derartige Nervenerkrankungen als sekundäre Folgeerscheinungen „elektrischer Unfälle“ „rein funktioneller“ Natur d. h. auf keine mit unseren heutigen Mitteln nachweisbaren anatomischen Veränderungen gegründet, und dabei spielen sie meistens in das psychische Gebiet hinüber. Zunächst gehört schon hierher als primäre Wirkung des Blitzes oder Starkstromes die oft, aber nicht immer eintretende Bewusstlosigkeit; nach der Rückkehr des Bewusstseins treten nicht selten Zustände von akuter Verwirrtheit, Tobsucht usw. auf. Später, oft sehr allmählich stellen sich dann Angstzustände, Kopfschmerzen, Schlaflosigkeit und sonstige „nervöse Beschwerden“ aller Art ein, welche besonders bei entsprechender Veranlagung des betreffenden Individuums bis

zum völligen Symptomenkomplex ausgebildeter schwerer Neurasthenie, resp. eventuell Hysterie anwachsen können. Insofern der „elektrische Unfall“ zum mindesten die auslösende Veranlassung gebildet hat, können wir hier von „elektrischen Unfallneurosen“ reden, als spezielle Abart der heutzutage, in der Zeit des gesteigerten Daseinskampfes einerseits, der sozialen Fürsorge andererseits so sehr häufig und wichtig gewordenen „Unfallneurosen“ überhaupt.

Eine besonders grosse Zahl, und, wenn man will, besondere Abart solcher elektrischer Unfallneurosen liefert in neuerer Zeit der Telephonbetrieb. Abgleichungen von Starkströmen durch die Telephondrähte (vergl. oben) sind schon weniger häufig als Entladungen atmosphärischer Elektrizität durch dieselben, durch welche Teilnehmer wie auch Beamten nicht selten zu Schaden gekommen sind; daher auch die üblichen Warnungen vor der Benutzung, ja Annäherung an die Apparate während eines Gewitters. Noch häufiger aber sind die Wirkungen besonders starker Weckströme (zu schnelles und häufiges Drehen der Induktorkurbeln), sei es, dass die Induktionsschläge selbst wirklich durch Isolationsmängel den Körper treffen, sei es, dass es sich um sehr starke Geräusche in den Fernhörern handelt, welche primäre Schädigung des Gehörorgans, jedenfalls aber starke psychische (Schreck-) Wirkungen entfalten. Ihnen unterliegen fast ausschliesslich die Beamten der Telephonzentralen, und zwar hauptsächlich die weiblichen, bei denen allerdings die Disposition zu nervösen Erkrankungen (Hysterie) von vornherein wohl ein grösserer ist. Immerhin aber handelt es sich um ernste Schädigungen¹⁾, welche die Aufmerksamkeit der Verwaltungen mit Recht auf sich gelenkt haben. Den Schädigungen der am Telephon- wie auch Telegraphenbetrieb Beteiligten durch atmosphärische Elektrizität ist übrigens durch Blitzschutzvorrichtungen („Blitzableiter“) nach Möglichkeit vorgebeugt.

81. Veränderungen der bioelektrischen Erscheinungen in pathologischen Zuständen.

Irgendwie erkrankte (pathologisch veränderte) Gewebe und Organe werden, so muss man erwarten, ein verändertes Verhalten ihrer elektrischen Erscheinungen zeigen, insofern diese ja Lebensäusserungen sind; und auch das Verhalten gegenüber Reizen im allgemeinen und insbesondere den elektrischen Reizen wird von der Norm abweichen können. Diese Abweichungen können unter Umständen derart sein, dass aus ihnen die Natur der Erkrankung

¹⁾ Vergl. Eulenburg, Über Nerven- und Geisteskrankheiten nach elektrischen Unfällen. Berlin 1904, sowie Kurella, Ztschr. f. Elektrotherapie, Bd. 6, S. 237, 261, 295, 7, S. 51; 1904, 1905.

erkannt werden kann: „Elektrodiagnostik“, das im nächsten Abschnitt zu behandelnde Gebiet.

Schon für die ausgeschnittenen Organe des Frosches wurde seinerzeit gefunden, dass jede Schädigung: schlechte Ernährung des Tieres, Erschöpfung der Reservestoffe durch den gesteigerten Stoffwechsel in der sommerlichen Jahreszeit, Misshandlung der Präparate und Gifte aller Art die EMK des Längsquerschnittsstromes beträchtlich herabsetzen und das gleiche erwies sich für die eigentlichen Tätigkeitserscheinungen, die „negative Schwankung des Längsschnittsstromes“ und die phasischen Aktionsströme, für die Sekretionsströme usw. als in noch höherem Masse gültig. Da diese letzteren mit den physiologischen Funktionen der lebenden Gebilde in untrennbarem Zusammenhange stehen, ja beim Nerven den einzigen mit unseren Mitteln direkt erkennbaren Ausdruck der Tätigkeit bilden, so ist von vornherein zu erwarten, dass ihre Veränderungen am Muskel und an der Drüse den Veränderungen der betreffenden Funktion — Kontraktion, Sekretion — und am Nerven den Veränderungen des Reizerfolges an dem mit dem Nerven verbundenen Erfolgsorgan (beim motorischen Nerven der Muskel usw.) im allgemeinen parallel gehen werden. Dies ist in der Tat der Fall: Aufhebung der betreffenden Funktion durch ein pathogenes, krankmachendes Agens hat auch die Aufhebung des elektrischen Erregungsphänomens zur Folge: so der Tod (die Starre) des Muskels mit dem Verschwinden der Kontraktionsfähigkeit auch diejenige des Aktionsstromes — desgleichen beim Nerven mit dem Verschwinden der Erregbarkeit und Leitfähigkeit; das Nichtfunktionieren der Drüse — Ausbleiben der Sekretion — auch das Ausbleiben des Sekretionsstromes, letzteres z. B. bei Vergiftung mit Atropin. Ist die Aufhebung der Funktion dauernd, so gilt dies auch für die elektrische Erscheinung; ist sie vorübergehend („temporär“), so kehrt mit dem Wiedereintritt der Funktion auch die elektrische Tätigkeitserscheinung wieder: Das ist z. B. der Fall bei der Einwirkung der als Narkotika bekannten chemischen Mittel, in nicht zu starken Dosen natürlich, die endgültigen Tod hervorrufen würden, also Kohlensäure, Alkohol, Äther, Chloroform; Kokain, Opiumalkaloide usw. Es ist schon lange bekannt, dass man durch Behandlung einer Stelle eines isolierten Nerven mit Ätherdampf, Bepinseln mit Kokainlösung hier die Leitung unterbrechen kann und dass sie nach Fortschaffen des Narkotikums wiederkehrt, mit ihr der Aktionsstrom; es gilt das gleiche natürlich für ganze Organe (Muskeln), lange Nervenstrecken usw.

Hier hat sich nun herausgestellt, dass im Verlaufe einer solchen allmählich eintretenden Vergiftung schrittweise ganz bestimmte Veränderungen der elektrischen Tätigkeitserscheinungen auftreten, welche durchaus analog sind denjenigen, welche speziell am Muskel den Kontrak-

tionsvorgang betreffen und welche allgemein analog sind den entsprechenden Veränderungen dieses letzteren wie auch der elektrischen Erscheinungen selbst im Verlauf der Ermüdung, sowie des als Entartung, „Degeneration“ bezeichneten langsamen Absterbens des Nerven wie auch des Muskels. Genau dieselbe Analogie besteht auch für das Verhalten der elektrischen Erscheinungen, resp. am Muskel der Kontraktionsfähigkeit im Verlaufe der allmählichen Funktionswiederherstellung nach Aufhebung der Schädigung: Erholung nach Ermüdung, Wiederherstellung der Funktion nach der Narkose, „Regeneration“ degenerierter Nerven und (wenigstens partiell entarteter) Muskeln:

Bei Reizung eines Muskels mit einzelnen Induktionsschlägen in genügend kurzen Intervallen beobachtet man, dass der Grad der Verkürzung, die „Hubhöhe“ bei jeder einzelnen Zuckung anfangs etwas zunimmt, dann eine Zeitlang gleichbleibt, schliesslich allmählich abnimmt, bis zu völliger Unfähigkeit zur Kontraktion („Erschöpfung“); eine solche „Ermüdungsreihe“, wie sie Fig. 75 zeigt, kann auch für die willkürliche Bewegung

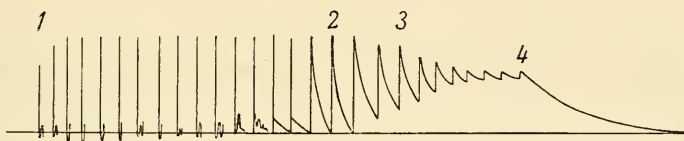


Fig. 75.

Ermüdungskurve eines Muskels.

des Menschen mittelst des sog. Ergographen oder Ponometers von Mosso erhalten werden. Untersucht man aber ferner durch Aufzeichnenlassen der Zuckung auf schnellbewegter Schreibfläche den zeitlichen Verlauf der einzelnen Zuckung, so findet man (gute Ernährung des Muskels vorausgesetzt), dass zunächst bei gleichbleibender Hubhöhe der absteigende Schenkel der Zuckungskurve in die Länge gezogen, also die Erschlaffung (als Ausdruck der Assimilations-, Restitutionsprozesse im Muskel) verzögert ist. Weiterhin wird diese Verzögerung immer bedeutender, so dass schliesslich ein „Verkürzungsrückstand“ zurückbleibt; dabei wird allmählich auch der ansteigende Schenkel verlängert, die Erreichung des Verkürzungsmaximums also verspätet, und die Grösse der Verkürzung (Hubhöhe) sinkt bis auf Null, während eine dauernde Verkürzung bestehen bleibt, aus welcher der Muskel erst allmählich (infolge Dehnung durch die angebrachte Last) herauskommt, wenn ihm eine Erholungspause gegeben wird: Fig. 76.

In ähnlicher Weise wird im Verlaufe der Narkose des Muskels zunächst der absteigende Schenkel der Zuckung in die Länge gezogen, weiterhin auch der aufsteigende, dabei dann die Hubhöhe bedeutend erniedrigt, bis zu schliesslicher Kontraktionsunfähigkeit (Erfahrungen mit Kohlensäure, mit Äther von Lahousse, Lhoták v. Lhota, Boruttau, Fr. W. Fröhlich). [Bestimmte Gifte haben besonders ausgesprochene Wirkung; so macht Veratrin im Anschluss an einen raschen Aufstieg und ebenfalls raschen, aber unvollständigen Abstieg eine sehr langsam zurückgehende „Veratridauerkontraktion“.] Endlich zeigt auch der degenerierende

Muskel analoges Verhalten: M. Mendelsohn¹⁾ hat für die Form der Zuckungskurve bei hierhergehöriger Krankheit des Menschen vier Haupttypen aufgestellt: Die erste, die „spasmodische“, entspricht offenbar den ersten Anfängen der Entartung dort, wo die sensibeln Zuleitungen zum motorischen Zentralapparat gestört sind — spasmodische Tabes; disseminierte Sklerose — und äussert sich, wie oben das erste Stadium beim ermüdeten Muskel, durch die Verlängerung des absteigenden Schenkels; bei dem dritten, als atrophisch bezeichneten, in Fällen bereits deutlichen Schwundes der Muskeln („Amyotrophie“) ist auf- und absteigender Schenkel verlängert, die Hubhöhe vermindert; bei dem vierten, als degenerativ bezeichneten, sollen noch Oszillationen im Abstieg dazu kommen. Der zweite Typ, die „paralytische Kurve“, zeigt normalen Verlauf, aber geringe Höhe und verlängerte Latenz, entspricht also wohl wesentlich Schädigungen der Nervenbahnen ohne konsekutive Entartung des Muskelgewebes.

Der Nerv galt bisher wohl als unermüdbar, ist es praktisch wohl auch; doch lässt sich durch Kombination mit Narkose (s. unten) Ermüdung gewöhnlicher markhaltiger Nerven demonstrieren (Fröhlich); an marklosen Nerven (Riechnerven des Hechtes) hat Garten Ver-

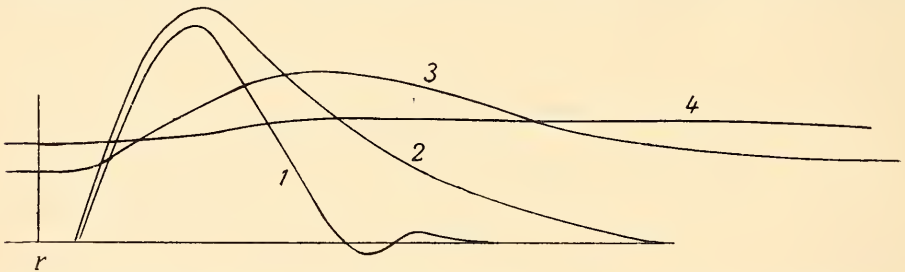


Fig. 76.

Zeitlicher Verlauf der Zuckungen in den 4 in Fig. 75 bezeichneten Ermüdungsstadien.
r Reizmoment.

änderungen der negativen Einzelschwankung (S. 74) ganz in demselben Sinne wie bei der Zuckung und dem Aktionsstrom des ermüdenden Muskels durch einfache Wiederholung der Reizung hervorrufen können. Wie dieser Autor an dem genannten Objekt, so habe ich auch am Frosch- und Säugetiernerven im Verlauf der Narkose die geschilderten und in Fig. 76 verdeutlichten Stadien der Veränderung des zeitlichen Verlaufs der „Erregungswelle“ konstatieren können. Bei rechtzeitiger Entfernung des Narkotikums werden sie wieder rückwärts durchlaufen bis zum normalen Verhalten.

Auch an dem nach der Durchschneidung absterbenden Nerven habe ich analoges Verhalten neuestens gefunden und dementsprechende Veränderungen des Aktionsstromes am entarteten Muskel: im allgemeinen ist hier das Stadium der Verlängerung des absteigenden Schenkels („negative Nachwirkung“, spasmodische Kurve) mehr vorübergehend als bei Vergiftung und Ermüdung.

Erholung, Entgiftung und, wo sie möglich, Regeneration führen an allen Objekten in analoger Weise zur Wiederherstellung normalen zeitlichen Verlaufs und normaler Grösse der Erregungserscheinungen.

¹⁾ Archives de physiologie, 1880, S. 193. Dissert. Dorpat 1884. Comptes rendus de l'Acad. des Sciences, Bd. 97, S. 112, 465; 1883, Bd. 113, S. 296; 1891. Revue neurologique, 1903, No. 3.

Weitere Einzelheiten, die schon früher angedeutet wurden, so die Beschränkung der Veränderung des zeitlichen Verlaufs durch Temperaturänderung und Gifte auf die beeinflusste Stelle, wogegen Verstärkung oder Schwächung bei der Weiterleitung bestehen bleibt — das sog. Lokalisationsgesetz — können hier nicht näher berücksichtigt werden. Diese Tatsache, sowie das besondere Verhalten der motorischen Nervenendigungen haben zu vielen Irrtümern und Streitigkeiten — Trennung von Leitfähigkeit und Erregbarkeit der Nervenfasern, Wesen der Hemmungserscheinungen u. a. m. — die Veranlassung gebildet, welche in neuester Zeit sich allmählich aufklären: die Interessenten seien auf die hierhergehörigen Schriften von Wedenski, von Hofmann und vom Verfasser dieses Buches in den letzten 20 Bänden des Pflügerschen Archivs für die ges. Physiologie, sowie von Fr. W. Fröhlich in Verworns Zeitschrift für allgemeine Physiologie verwiesen.

82. Erhaltung der Alterationsregel und des polaren Erregungsgesetzes auch in pathologischen Zuständen.

Soviel ist sicher, alle pathologischen Veränderungen der bioelektrischen Erscheinungen, wenigstens an Nerven und Muskeln, betreffen nur deren Stärke und zeitlichen Verlauf, nicht aber ihren Sinn („Negativwerden“ der tätigen Gewebstellen gegen ihre ruhende Umgebung) als Ausdruck des Wesens der inneren Vorgänge (Überwiegen der dissimilatorischen Prozesse bei der Tätigkeit, Stoffwechselgleichgewicht resp. Überwiegen der assimilatorischen Prozesse in der Ruhe).

Niemals, durch keinerlei pathogenes Agens kann es dazu kommen, dass tätige Muskel- oder Nervensubstanz sich positiv zu ihrer ruhenden Umgebung verhielte; alle angeblichen derartigen Vorkommnisse sind vielmehr nur scheinbar.

Es kann z. B. „Negativität“ durch gleichzeitig auf anderem Wege veranlasste Positivität verschleiert werden: so ist bei elektrischer Reizung in gewisser Nähe der Elektroden stets der „Elektrotonus“ wirksam: schädigende Agentien, welche die Reizwelle resp. den Aktionsstrom abschwächen, können gleichzeitig das Verhältnis $\frac{A}{K}$ (Grösse des anelektrotonischen zu derjenigen des katelektrotonischen Stromes) vergrössern, so dass bei Reizung mit Wechselströmen der überwiegende Anelektrotonus die schwache „negative Schwankung“ verdeckt und eine „positive Schwankung“ vortäuscht¹⁾.

In ähnlicher Weise wird eine scheinbare Umkehrung des Vorzeichens des Aktionspotentials auch bei anderen, nicht rein nervösen und muskulären Gebilden zu stande kommen können. Ohnehin ist dasselbe hier ja auch nicht immer einer Verminderung — „negativen Schwankung“ — der etwa in der Ruhe bestehenden Potentialdifferenz entsprechend, wie am Muskel und Nerven: der normale Effekt auf Lichteinfall in das Auge, wie auch auf Aufhören der Belichtung (Gotch) ist eine „positive Schwankung“ der präexistierenden Potentialdifferenz an der Netzhaut: Da

¹⁾ Noch nähere Begründung werde ich in weiteren Abschnitten meiner „elektropathologischen Untersuchungen“ geben.

an letzterer mehrere Gewebe möglicherweise beteiligt sind, ist eine pathologische Umkehrung des Vorzeichens der „photo-elektrischen Schwankung“ eventuell durch entgegengesetzte Beeinflussung derselben zu erklären: analog bei den Drüsen, wo „Ruheströme“ und „Sekretionsströme“ manchmal gleich-, manchmal aber auch entgegengerichtet sind: hier hat ohne Zweifel die (an möglichst vielen verschiedenen Tierarten) vergleichend-physiologische Forschung die meiste Aussicht, Klarheit zu schaffen.

Nachdem wir nun im vorigen Abschnitt gesehen haben, dass das sog. polare Erregungsgesetz zu der Regel von der „Negativität tätiger Gewebeteile“ in innigster Beziehung steht, gewissermassen ihr Spiegelbild darstellt, ist zu erwarten, dass auch dieses polare Erregungsgesetz, wonach am Muskel oder Nerven Erregung bei künstlicher Potentialänderung gleich Verstärkung oder Schliessung eines Stromes stets ausgeht von der Kathode oder negativen Elektrode, bei der Schwächung oder Öffnung des Stromes (Rückgängigmachung der Potentialänderung) dagegen stets ausgeht von der Anode: dass dieses Gesetz auch unter pathogenen, schädigenden Einflüssen seine unumstössliche Gültigkeit bewahre.

In der Tat ist man in neuerer Zeit mit Erfolg bemüht gewesen, die scheinbaren Umkehrungen des polaren Erregungsgesetzes, welche die Begründer der Elektrodiagnostik als eines der Kennzeichen der Entartung gelähmter Muskeln formuliert haben, als eben nur scheinbar vorhanden durch die veränderten Innervations- und Leitungsverhältnisse zu erklären. Mit dem nochmaligen Hinweis darauf, wie sich so auch hier der innere, unauflösbare Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der experimentellen Forschung und den Erfahrungen der Praktiker bewahrheitet, verweisen wir die nähere Besprechung der sog. „Entartungsreaktion“ mitsamt ihren Erklärungen in den nun folgenden Abschnitt. —

Siebenter Abschnitt.

Elektrodiagnostik.

83. Die elektrische Untersuchung der Muskel- und Nerven-erregbarkeit auf etwaige krankhafte Veränderungen ist selbstverständlich nur eine der diagnostischen Methoden, welche bei der Feststellung des gesamten Krankheitsbildes bei einer Nerven- und Muskelkrankheit zusammenwirken müssen. Sie ist absolut nicht leicht und einfach, zu ihrer Beherrschung gehört lange Übung und grosse Sorgfalt, welche in der gewöhnlichen klinischen Praxis nicht immer zugegen ist. Zur Übung gebricht es öfters an einer genügenden Zahl neurologischer Patienten¹⁾ und auch der zur Verfügung stehende Apparat ist gerade für die diagnostischen Zwecke oft ungenügend oder unpassend zusammengestellt.

Es ist bezeichnend, dass die meisten, in neuerer Zeit rasch anwachsenden Fabriken von elektromedizinischen Apparaten, insbesondere von Vorrichtungen zum Anschluss derselben an vorhandene städtische usw. Starkstromleitungen die Kombination aller möglichen Vorrichtungen zu Heil- und chirurgischen Zwecken erstreben, so dass der „Anschlussapparat“ erlaubt die „Galvanisation“, Faradisation mit gewöhnlichem und sinusoidalem Strom, Elektrolyse, Kaustik, Franklinisation und Vibrationsmassage usw.“; dass aber von der Elektrodiagnostik bei diesen Anpreisungen überhaupt nicht die Rede ist.

Nun ist es allerdings richtig, dass die zur Galvanisation und Faradisation üblichen Einrichtungen gleichzeitig für die ge-

¹⁾ Der vielverpönte Ausdruck „Krankenmaterial“ möchte doch bald aus der Fachliteratur verschwinden; er passt doch wahrlich nicht in dieses human sein wollende Zeitalter: à la bonne heure kann man von „anatomischem Material“ reden!

wöhnliche Untersuchung der elektrischen Erregbarkeit benutzbar sind oder wenigstens sein sollen, so dass wir nach Besprechung der hierher gehörigen wichtigsten technischen Hauptprodukte im nächsten Abschnitt bei der Elektrotherapie hierher werden zurückverweisen dürfen. Andererseits aber ist gerade für die diagnostischen Zwecke manche Einzelheit an den Apparaten durchaus unerlässlich, auf welche hier ausdrücklich hingewiesen wird, und um die es oft bei teuren und luxuriösen „Installationen“ sehr mangelhaft bestellt ist.

84. Instrumentarium zur Untersuchung der „galvanischen“ Erregbarkeit.

Untersucht wird stets die „faradische“ und die „galvanische Erregbarkeit“; es muss also vorhanden sein ein „Induktorium“ mit genauer Abstufbarkeit und eine Quelle für konstanten, gleichgerichteten Strom von genügender Gesamtspannung und ebenfalls genauer allmählicher Abstufbarkeit. Letztere wird durch eine konstante Batterie gebildet werden können (Leclanché-Elemente) von einer genügenden Elementzahl — 60 bis 100 — von denen eine beliebige Anzahl muss hintereinander geschaltet werden können, was durch den sog. Elementenzähler („Kollektor“) zu geschehen pflegt. Derselbe besteht aus einer Reihe von Metallknöpfen, welche mit den Verbindungsstücken zwischen den beiden ungleichnamigen Polen von je zwei Elementen verbunden sind, der letzte mit dem Schlusspol (z. B. —), während der Anfangspol (z. B. +) zur einen Abnahmeklemmschraube (durch Vermittelung der gleich zu beschreibenden Schaltapparate und Widerstände) führt. Die andere Klemmschraube ist mit der Metall-

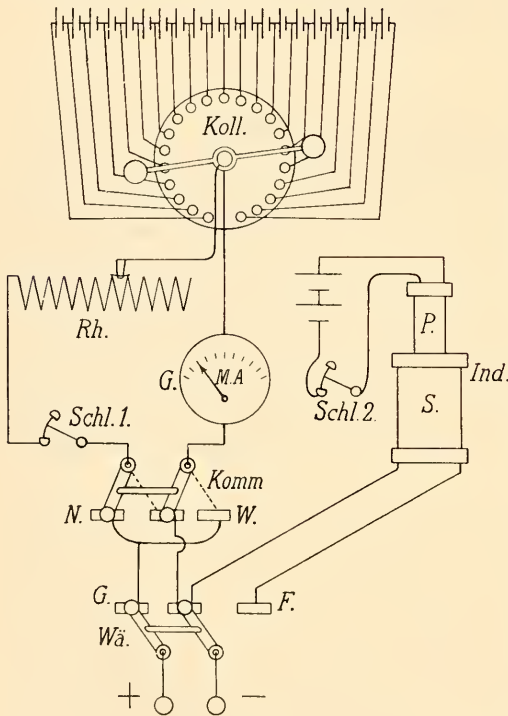


Fig. 77.

Schaltetafel für galvanischen und faradischen Strom zu diagnostischen Zwecken.

N normal, W wenden, G galvanisch, F faradisch.

stange der Kurbel verbunden, welche der Reihe nach auf jeden der Metallknöpfe gebracht werden kann. Diese Konstruktion hat den Nachteil, dass die „letzten“ Elemente nur dann gebraucht werden, wenn man starken Strom braucht, die ersten aber immer, so dass sie sich schneller ab-

nutzen. Die andere Klemmschraube ist mit der Metall-

nutzen; man bevorzugt daher den „Doppekkollektor“, welcher zwei Kurbeln mit konzentrischen von einander isolierten Achsen besitzt, die zu den beiden Abnahme-Klemmschrauben führen, während der erste und letzte Metallknopf den äussersten Batteriepolen, die übrigen Knöpfe den Zwischenstücken entsprechen: Koll. in Fig. 77; er ermöglicht es, jede beliebige Elementzahl an jeder beliebigen Stelle der Batterie herauszunehmen. Bequemer als die Batterie ist heutzutage, wo man es haben kann, der Anschluss an eine Starkstromleitung. Das nähere hierüber wird im nächsten Abschnitt gesagt werden. Es muss schliesslich auf alle Fälle Gleichstrom vorhanden sein, von einer genügenden Spannung (was darüber ist, wird durch vorgeschaltete Drahrheostate event. Glühlampen „totgemacht“ und die genaue Regulierung am besten durch Abzweigung vermittelt des Voltregulators (S. 22) bewirkt. Bei Batteriestrom dagegen wäre diese Einrichtung unzweckmässig, weil hier immerfort Strom durch die Gesamtwindungen sich abgleicht, auch in den Pausen, wo die Zweigleitung geöffnet wird; hier wird man besser durch in die Hauptleitung geschaltete Kurbelrheostaten (event. Schieber-rheostaten mit sehr feiner Wicklung) Rh den Strom abstufen, so dass zwischen den einzelnen Schliessungen in der Batterie kein Verbrauch stattfindet.

Ablesen wird man Stromstärke bei eingeschaltetem Körper an einem dauernd im Kreise befindlichen absoluten Galvanometer G. Ein gutes zuverlässiges Milliampèremeter ist die Grundbedingung für die Untersuchung der galvanischen Erregbarkeit; man wird stets ablesen und protokollieren, bei welcher Stromstärke in Milliampères die betreffende Zuckungsart (KSZ usw.) gerade eben auftritt, (Reizschwelle¹), Schwellenwertbestimmung).

Wichtig ist nun ferner eine Vorrichtung zum Wechseln der Stromrichtung, die es also gestattet, die auf den Körper gesetzte „differente Elektrode“ beliebig zur Anode oder Kathode zu machen, ein „Stromwender“ oder „Kommutator“. An Stelle des von den Physikern und Physiologen bevorzugten Quecksilberkommutators (der sog. Pohl-schen Wippe mit Kreuz) benutzt man in der Praxis gewöhnlich Stromwender mit „trockenen Kontakten“, meist denjenigen nach Strümpell, bestehend aus zwei „parallelgehenden Kurbeln“, deren Metallstangen durch ein isolierendes Zwischenstück mit einander verbunden sind; jede ihrer Achsen steht mit dem einen Batteriepol in Verbindung; ihre Enden schleifen auf drei Metallstücken, von denen die äussersten untereinander und mit der einen Abnahmeklemme, das mittlere mit der anderen Abnahmeklemme verbunden sind; Komm. in Fig. 77. Er gestattet eine schnelle

¹) Schwelle = Limen, „Grenze“, französ. seuil d'irritation.

Wechselung der Stromrichtung (sog. Voltasche Alternativen). Man hat auch Stromwender, welche gleichzeitig Öffnung und Schliessung des Stromes erlauben —, so den einfacheren wohlbekannteren von Ruhmkorff, den verwickelteren von Brenner; zweckmässiger dürfte es sein, neben dem Stromwender noch einen einfachen Stromschlüssel — Quecksilberschlüssel Schl. 1 — auf seinem Schaltbrett (Tableau, Anschlussapparat) zu haben (der bei Anschluss an Starkstromleitungen stets vorhandene „Ein- und Ausschalter“ ist unzweckmässig), und zwar auch dann, wenn man an dem Griffe der aufgesetzten differentiellen Elektrode selbst einen federnden Schlüssel hat („Unterbrechungselektrode“) und zur Öffnung und Schliessung des konstanten Stromes benutzt.

85. Instrumentarium zur Untersuchung der „faradischen“ Erregbarkeit.

Für die Untersuchung der faradischen Erregbarkeit benutzt man ein gutes Induktorium Ind., welches bei Batteriestrom durch zwei besondere Elemente, bei Anschluss an Starkstrom durch eine entsprechende Teilspannung desselben (Vorschaltung einer oder mehrerer Glühlampen als Widerstände) gespeist wird. Es muss ein Schlitteninduktorium sein, dessen Schlitten gewöhnlich zu Unrecht viel zu kurz gemacht wird, weil die Reizschwelle der faradischen Erregbarkeit der Muskeln und Nerven in situ gewöhnlich ziemlich hoch, d. h. diese selbst ziemlich gering ist; es kann aber so bedeutende Erregbarkeitssteigerung vorkommen, dass die Schlittenlänge nicht ausreicht; völlig überflüssig ist die Verschiebung durch Zahnstange und Trieb. Man wird die faradische Erregbarkeit meist nach Millimeter Rollenabstand angeben, was bei Vergleichung von Kranken mit Gesunden ja immerhin eine Vorstellung gibt; wir wissen, dass keinerlei Proportionalität zur absoluten Reizstärke dabei statthat. Man hat nun Wechselstromvoltmeter zwischen die Pole der sekundären Rolle eingeschaltet, welche die Spannung direkt ablesen lassen sollen — „absolute Faradimeter“, Fig. 78; da aber der eingeschaltete Körperwiderstand so sehr veränderlich ist, ist sein Wert äusserst problematisch und genaue Intensitätsmesser der schwachen Induktoriumswechselströme sind, wie wiederholt erwähnt, bis jetzt ein frommer Wunsch¹⁾.

Nicht direkt notwendig für die Untersuchung der faradischen Erregbarkeit ist der automatische Unterbrecher (Wagnerscher Hammer); und da er für die therapeutischen Zwecke an dem Induktorium doch meist vorhanden ist, muss eine Vorrichtung (Stöpsel oder Kurbel) vorhanden sein, um ihn aus- und an seine Stelle einen einfachen (am besten Quecksilberschlüssel, event. Morsetaster) Schlüssel Schl. 2 einzuschalten,

¹⁾ Hoorweg (Medizinische Elektrotechnik, Leipzig, Engelmann 1893) empfiehlt Giltays (Delft, Holland) absolutes Elektrodynamometer.

welcher es gestattet, mit der Hand den primären Kreis zu öffnen und zu schliessen und so dem zu untersuchenden Organ einzelne (Schliessungs- und Öffnungs-) Induktionsschläge zuzuführen und zu beobachten, bei welchem Rollenabstande zuerst der Öffnungsschlag eine Einzelzuckung hervorruft. Dies ist die einzig richtige Methode der Untersuchung der faradischen Erregbarkeit. Die Zuführung „tetanisierender“ Ströme bei spielendem Hammer und Unterbrechung derselben mit dem federnden Schlüssel

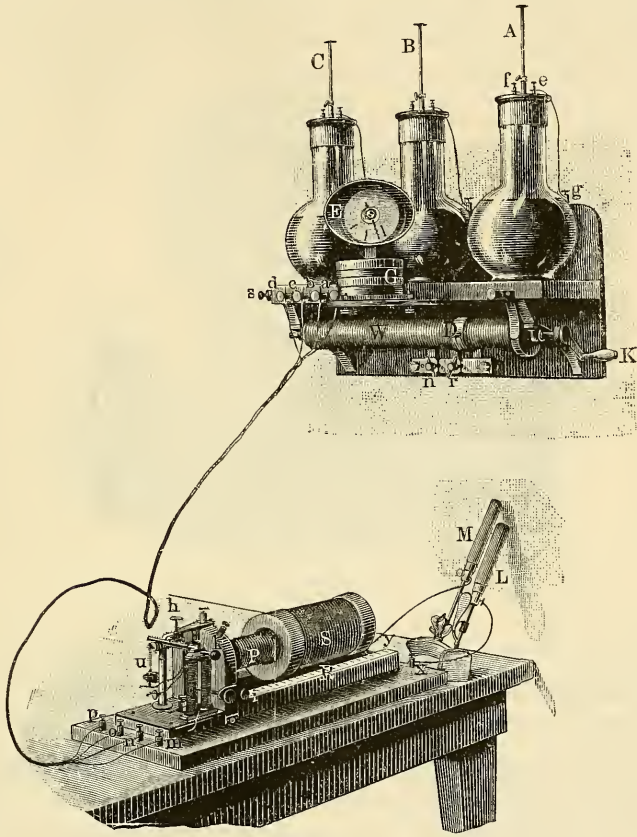


Fig. 78.

Schlitteninduktorium mit absolutem Faradimeter von M. Th. Edelmann in München.

an der Unterbrechungselektrode selbst, wie man sie meist ausführen sieht, halte ich für fehlerhaft. Höchstens kommt Notierung der Reizschwelle bei spielendem Hammer erst an zweiter Stelle. Ein faradischer Apparat ohne Vorrichtung für „Einzelschläge“ ist für die Elektrodiagnostik nicht geeignet!

86. Elektroden usw.

Immerhin wird man recht wohl die nämlichen Elektroden, Zuleitungsschnüre und Abnahmequellen für die Untersuchung der galvanischen und der faradischen Erregbarkeit benutzen können, wozu ein Stromwähler dienen kann, gewöhnlich nach de Watte-

ville als Doppelkurbel ganz analog dem oben beschriebenen Kommutator, nur dass die Kurbeln mit der Ableitung verbunden und von den drei Metallstücken das eine äusserste mit der einen Batterieleitung, das andere mit dem einen Ende der sekundären Rolle des Induktoriums, das mittlere endlich sowohl mit der anderen Batterieleitung, als auch mit dem anderen Ende der sekundären Rolle des Induktoriums verknüpft ist. Fig. 77 Wä.

Die Zuleitung der Ströme zu den Elektroden erfolge durch gut isolierte Schnüre (Gummikabel): an den Elektroden selbst unterscheidet man den Halter (Fig. 79a) mit dem isolierenden Handgriff, dem Zwischenstück mit Klemme zum Anschrauben der Leitungsschnur, event. dem federnden Kontakt, welcher auf Fingerdruck den Strom unterbricht, auf Nachlassen schliesst („Unterbrechungselektrode“) Fig. 79b, und dem auf-

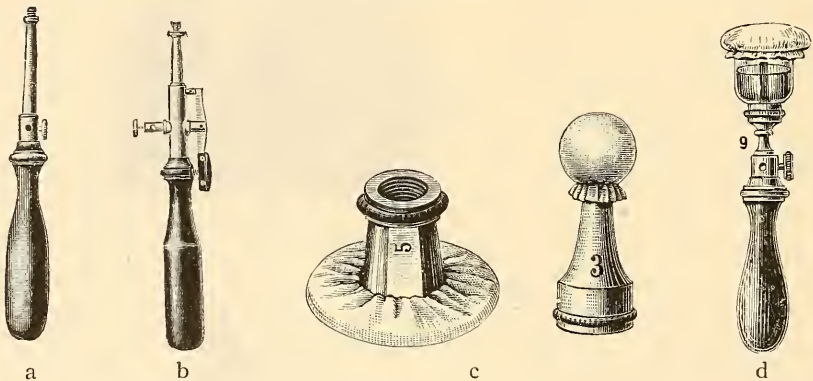


Fig. 79.

schraubbaren eigentlichen Elektrodenkörper oder Rheophor, welcher die verschiedensten Formen erhalten kann (siehe Figur 79c). Zur Diagnostik nimmt man für die differente Elektrode meist runde Knöpfe oder runde Platten von höchstens 2 cm Durchmesser, natürlich gut mit angefeuchtem Zeug überzogen, event. unpolarisierbare Elektroden in der von Hitzig angegebenen Modifikation der du Bois-Reymondschen Form, die aus Figur 79d leicht verständlich ist.

87. Elektrodiagnostische Methodik.

Die indifferente Elektrode muss eine sehr grosse Platte sein, welche sehr gut angefeuchtet, je nach dem Orte der Untersuchung im Nacken, auf dem Rücken oder der Brust, im Gesäss, auf dem Unterleib oder Oberschenkel angedrückt oder noch besser festgebunden oder durch Spangen festgehalten wird. Die differente Elektrode muss klein sein, erstens genügender Stromdichte an und für sich und zweitens genügend genauer Lokalisation halber, denn die genaue anatomische Lokalisation ist die notwendige Grundlage der Elektrodiagnostik in dem Sinne, dass die Elektrode jedesmal genau auf den Punkt aufgesetzt wird, von wo

der Nerv in der grössten Stromdichte getroffen wird, indem er möglichst nahe unter der Haut liegt, resp. von wo aus der Muskel sich am leichtesten zur Kontraktion anregbar erweist, d. h. meistens über der Stelle des Eintritts seines motorischen Nervenzweiges. Eine derartige topographische Lokalisation der „motorischen Punkte“ hat zuerst der Franzose G. B. Duchenne (aus Boulogne) gegeben und zur Grundlage seiner berühmten Physiologie der Bewegungen¹⁾ gemacht.

Wir geben hier als Beispiel seiner bei einem alten Schauspieler angestellten Lokalelektrisation der Gesichtsmuskeln und Feststellung ihrer

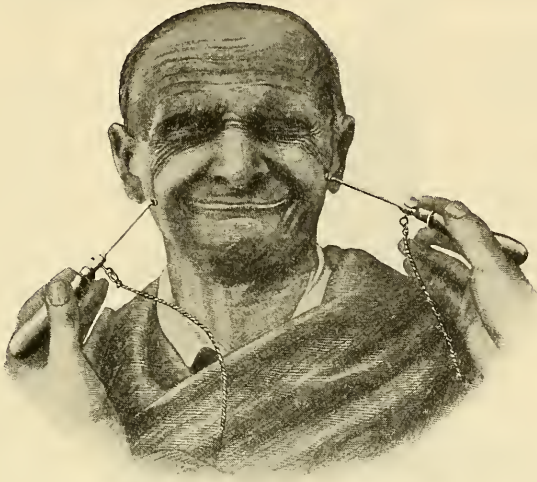


Fig. 80.
Nach Duchenne.

Bedeutung für die Mimik die lokalisierte Faradisation des M. zygomaticus major beiderseits: Figur 80. (Hier kann die Zuleitung bipolar sein, oder aber die differente Elektrode ist „gegabelt“.)

Es haben dann am Menschen die Arbeiten von Rob. Remak, Erb, Ziemssen u. a. die in Rede stehende Aufgabe fortgeführt; wir geben hier mehr schematische Abbildungen (nach Seifert und Müller) zur allgemeinen Übersicht über die Lokalisation der motorischen Punkte; Figur 81–83. Figur 84 gibt eine ähnliche Übersicht für die Nerven und Muskeln des Pferdes nach Teregs vortrefflicher „Elektrotherapie für Tierärzte“²⁾.

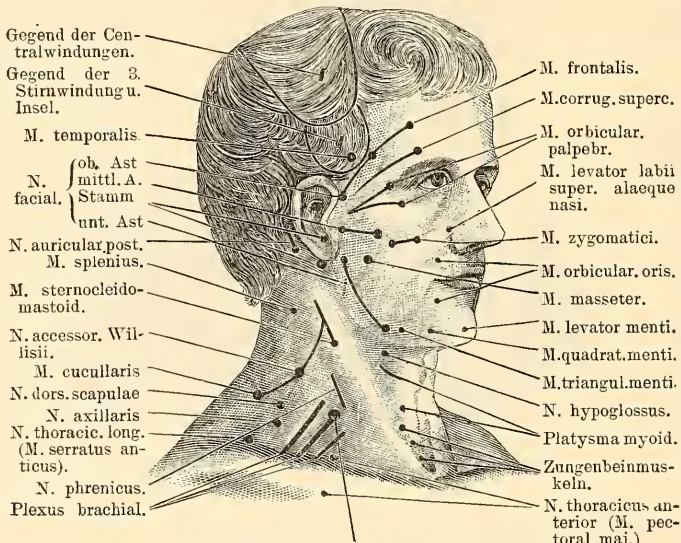
Die differente (Knopf)-Elektrode muss gehörig angefeuchtet und an den bestimmten Punkt fest angedrückt (in die Haut eingedrückt) gehalten werden, um den Widerstand möglichst zu vermindern und möglichst gleichmässig zu halten: ohnehin nimmt derselbe ja im Verlaufe der

¹⁾ Deutsch von C. Wernicke, Berlin 1881.

²⁾ Berlin, Parey, 1902.

konstanten Durchströmung (und auch tetanisierender Faradisation, wo solche etwa benutzt wird) ab, so dass die erhaltenen Schwellenwerte sich ändern: es ist Aufgabe des Untersuchers, durch Umkehrung der Reihenfolge der untersuchten Punkte, Berechnung von Mittelzahlen usw. diese Fehlerquelle nach Möglichkeit auszuschalten.

Man vergleiche stets die Erregbarkeit des Objekts, bei halbseitigen Erkrankungen mit derjenigen des gleichen Objekts der gesunden Seite, bei beiderseitigen mit derjenigen eines normal gebliebenen Objekts von annähernd gleicher durchschnittlicher Erregbarkeit¹⁾: Punkte des N. frontalis und N. accessorius am Halse, besonders des



Erb'scher Supraclavicularpunkt (M. deltoideus, biceps, brachialis internus, supinator long. und brevis, infraspinat. und subscapularis).

Fig. 8r.

N. ulnaris oberhalb des Ellbogenhöckers (Olekranon) und des N. peroneus zwischen Kniekehle und Wadenbeinköpfchen (Capitulum fibulae).

Man beginnt stets mit der Prüfung der „faradischen Erregbarkeit“ (Einzelschläge; Rollenabstand (RA) in mm oder cm ins Protokoll eintragen!) und schliesst daran diejenige der „galvanischen“ — Schliessung und Öffnung des konstanten Stromes. Die normalen faradischen Erregbarkeiten der obengenannten Nervenpunkte liegen (bei ca. 3 Volt im primären Kreise und 10000 Windungen in der sekundären Spule) etwa bei 120—140 mm RA; von ihnen, wie von den motorischen Punkten gesunder Muskeln erhält man Kathodenschliessungszuckung etwa bei 1—3 Milliampère.

¹⁾ Gleiche Elektrodenflächen (Normalelektroden, Erb, Stintzing) natürlich vorausgesetzt. Stintzing hat eine gewisse normale „Erregbarkeitsbreite“ in mühevollen Untersuchungen für zahlreiche Punkte festgesetzt.

Steigerung der Erregbarkeit des Nerven, insbesondere der faradischen, ist regelmässig gefunden worden bei Tetanie, ausserdem in den ersten Stadien progressiver Muskelatrophie, im Beginne akuter Myelitis (Rückenmarksentzündung), auch wohl bei frischen Hemiplegien (Halbseitenlähmungen nach Schlaganfall — Apoplexie) mit Reizerscheinungen; endlich in der allerersten Zeit bei frischen Nervenentzündungen und Verletzungen, ebenso wie es im Tierexperiment unmittelbar nach der Nervendurchschneidung am durchschnittenen Nerven der Fall ist.

Ausser bei den Lähmungen rein cerebralen Ursprungs (durch Gehirnerkrankungen) folgt auf diese „primäre“, „einfache“ Erregbarkeitssteigerung stets Herabsetzung der Erregbarkeit des Nerven; dieselbe tritt ferner von vorn herein auf bei allen Rückenmarkslähmungen: Quetschungen, Durchtrennungen, Entzündungen, insbesondere bei der Poliomyelitis acuta (spinale Kinderlähmung), bei progressiver Paralyse und multipler Sklerose, bei peripherischen Leitungslähmungen, multipler Neuritis (Nervenentzündung).

88. Entartungsreaktion.

Wo nun die Erkrankung derart ist, dass die motorischen Nervenfasern und notwendigerweise damit auch die von ihnen innervierten Muskeln langsam absterben — „Entartung durch Lähmung, paralytische Degeneration“ — das ist überall da, wo die motorischen Ganglienzellen in den Vorderhörnern des Rückenmarks zer-

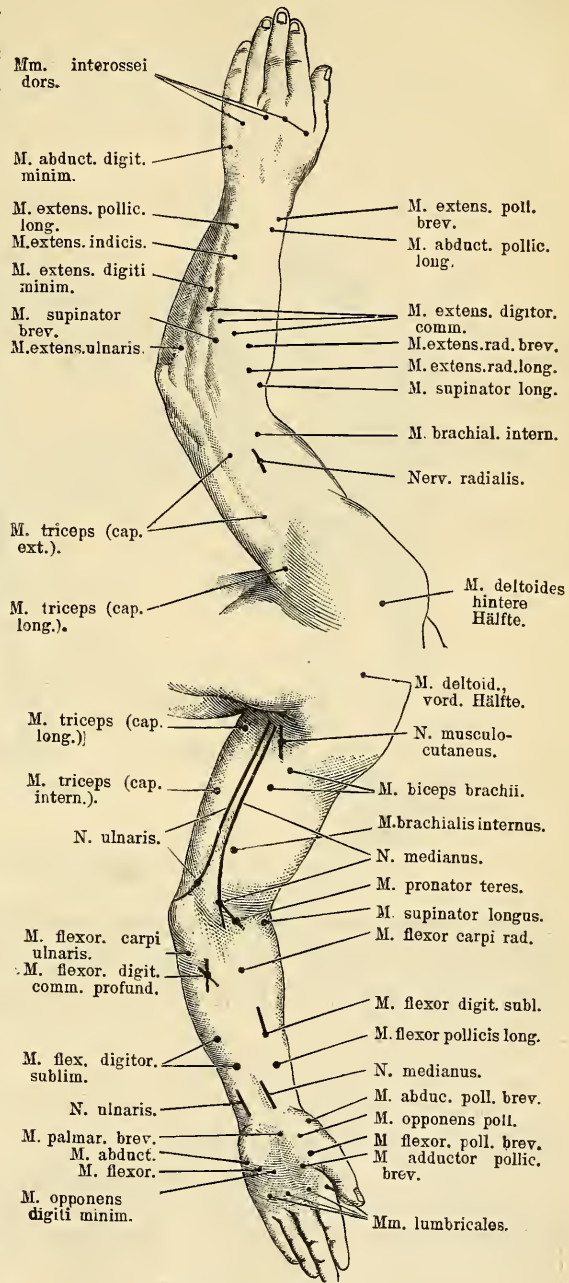


Fig. 82a und b.

stört sind, z. B. bei der Kinderlähmung (Poliomyelitis)¹⁾, oder wo die peripherischen Nervenanteile von diesen getrennt (traumatische Lähmungen) oder durch Gifte sehr schwer geschädigt (Bleineuritis, Alkoholneuritis) sind; [seltener bei rheumatischer Lähmung z. B. des N. facialis (motorischen Gesichtsnerven): bei Myelitis, progressiver Muskelatrophie u. a. m.]: — da kommt es zu einem Gesamtkomplex von Veränderungen der

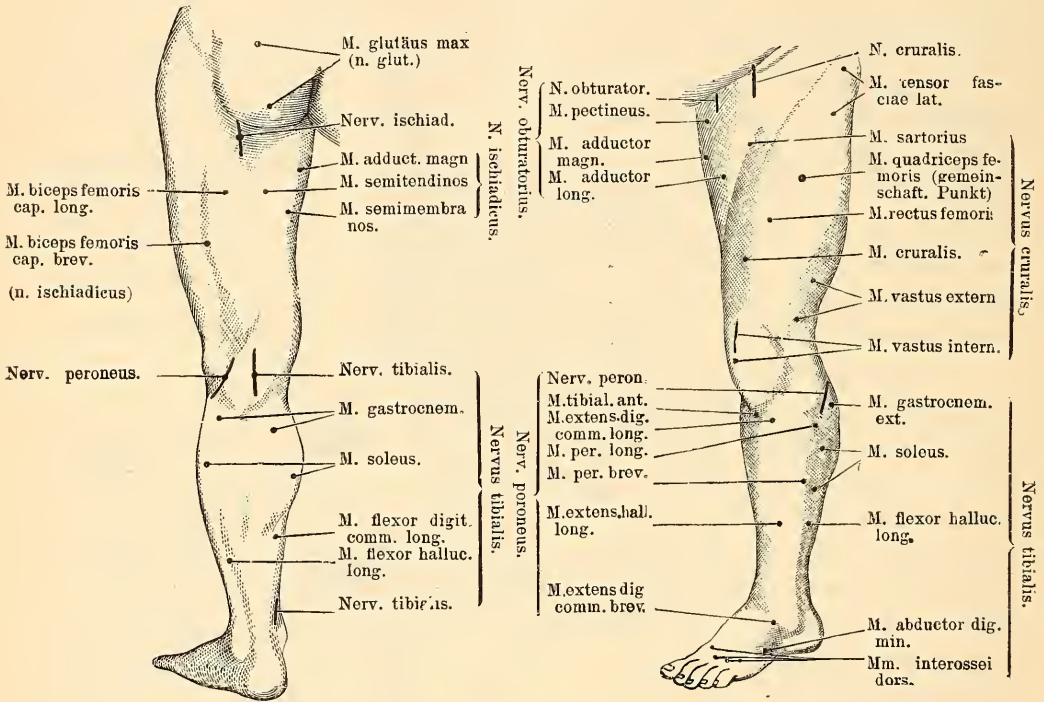


Fig. 83a und b.

elektrischen Erregbarkeitsverhältnisse, welche wir nach den klassischen Arbeiten von Baierlacher, Moriz Meyer, Neumann, Erb, Ziemssen und Weiss als „Entartungsreaktion“ (EAR) zusammenfassen:

Es gehören dazu mehrere Grade:

I. Der Nerv verliert völlig seine faradische, wie auch galvanische Erregbarkeit.

Nach Ziemssen soll bisweilen die galvanische länger als die faradische persistieren. Die willkürliche Innervationsfähigkeit kann schon verschwunden sein, wenn die elektrische Erregbarkeit noch da ist; umgekehrt kommt bei der Regeneration die willkürliche Innervierbarkeit (wenn auch nur spurweise und schwach) eher wieder als die elektrische Erregbarkeit (ebenso beim Tierversuch als ein nachweisbarer Aktionsstrom: nach meiner Ansicht deshalb, weil die wenigen, den willkürlichen Impuls bereits wieder leitenden regenerierten Fasern noch nicht in genügender Dichte vom Strom

¹⁾ Von polios (πολιός), grau = Entzündung der grauen Substanz des Rückenmarks.

getroffen werden (resp. noch nicht genügend merklichen Aktionsstrom ableiten lassen; beide gleichen sich grösstenteils in dem noch nicht wieder funktionierenden Nervengewebe ab).

2. Der Muskel verliert seine faradische Erregbarkeit, während die galvanische unverändert oder sogar gesteigert ist.

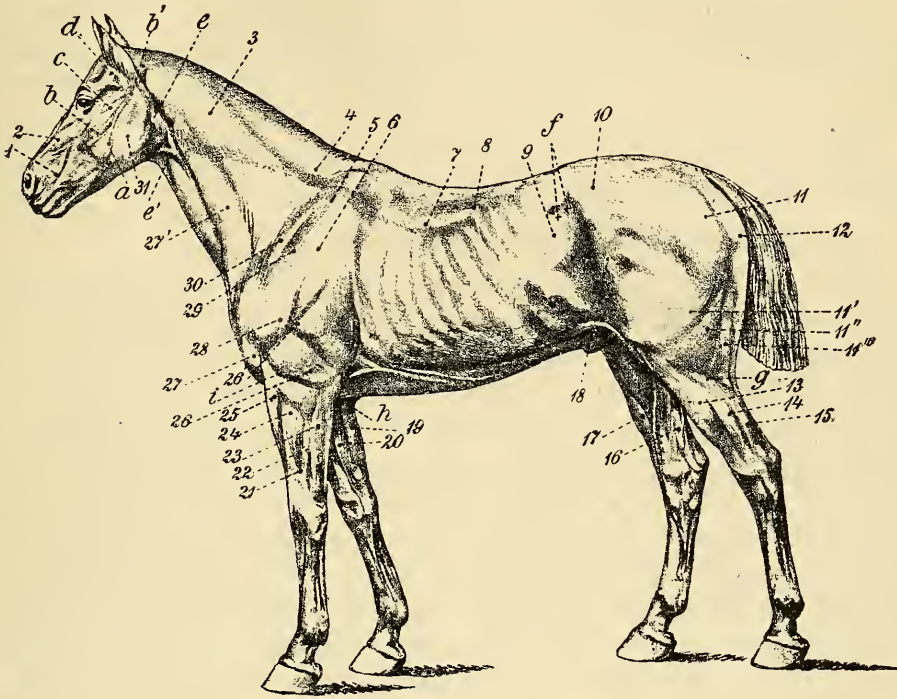


Fig. 84.

Motorische Punkte einiger Nerven und Muskeln des Pferdes.

(Nach Tereg, Elektrotherapie für Tierärzte.)

a N. buccalis inferior, b N. buccalis superior, b' Stamm des N. facialis, c Oberer Ast des N. temporalis superficialis, d N. zygomatico-temporalis, e N. accessorius Willisii, e' Unterer Ast des Accessorius für den M. sterno-maxillaris, f Hautnerven der N. lumbales, deren Reizung Reflexzuckung des Schulterhautmuskels bedingt, g N. peroneus, h N. ulnaris, i N. radialis. 1 M. levator labii superioris et alae nasi, 2 M. levator labii sup. proprius, 3 M. splenius, 4 M. rhomboideus cervicalis, 5 M. trapezius, 6 M. infraspinatus, 7 M. ileo-costalis, 8 M. longissimus dorsi, 9 M. obliquus abdominis internus, 10 M. glutaeus medius, 11 M. biceps femoris, 11', 11'', 11''' vorderer, mittlerer, hinterer Endkopf des biceps f, 12 M. semitendinosus, 13 M. extensor digitorum ped. longus, 14 M. peroneus longus Gurkt (extensor digiti quinti proprius Ellenberger), 15 M. tibialis posticus, 16 M. flexor hallucis longus, 17 M. tibialis anticus, 18 M. tensor fasciae latae, 19 M. flexor carpi ulnaris, 20 M. flexor carpi radialis, 21 M. abductor et extensor pollicis, 22 M. extensor digiti minimi, 23 M. extensor carpi ulnaris, 24 M. extensor digitorum communis, 25 M. extensor carpi radialis, 26 M. anconaeus lateralis, 26' M. anconaeus longus, 27 M. sterno-cleido-mastoideus (pars brachialis), 27' M. sterno-cleido-mastoideus (pars cervicalis), 28 M. deltoideus, 29 M. supraspinatus, 30 M. pectoralis minor (pars scapularis), 31 M. masseter.

3. Die Muskelzuckung verläuft träge, statt des normalen, blitzschnellen Ablaufes.

4. Die Zuckungsformel ändert sich bis zur sog. Umkehr: Die Öffnungszuckungen werden immer schwächer und die Reizschwelle der

ASZ rückt immer näher an diejenige der KSZ heran, bis schliesslich sogar die ASZ bei geringerer Stromstärke eintritt als die KSZ.

Diese Veränderungen treten nicht immer sämtlich auf, manchmal fehlt die Steigerung der galvanischen Erregbarkeit und Umkehrung der Zuckungsformel und es zeigen sich nur Verluste der faradischen Erregbarkeit und Zuckungsträgheit: „partielle Entartungsreaktion“. Der Grad der Vollständigkeit hat eine gewisse prognostische Bedeutung; je vollständiger desto schwerer die Lähmung und geringer die Wahrscheinlichkeit der Heilung.

Auf Einzelheiten der atypischen Entartungsreaktion, die „mechanische EAR“ usw. kann hier nicht eingegangen werden.

89. Erklärung der Entartungsreaktion.

Man hat sich natürlich bemüht, physiologische Erklärungen für die Entartungsreaktion zu finden: der Verlust der faradischen Erregbarkeit und die Zuckungsträgheit erschien früher besonders denjenigen plausibel, welche glaubten, dass die Muskelsubstanz als solche gar nicht, oder doch nur zu lokalbleibender und langsam verlaufender Zusammenziehung, zu generalisierter, rascher ablaufender „Zuckung“ aber nur durch Vermittelung der Nerven. veranlasst werden könne: „idiomuskuläre und neuromuskuläre“ Kontraktion von Schiff: für diese erklärte sich das Verschwinden der Erregbarkeit für die nur die letzte Art Kontraktion auslösenden, selbst flüchtig verlaufenden faradischen Ströme, ebenso wie die Zuckungsträgheit bei der Schliessung und Öffnung des konstanten Stromes einfach aus dem Absterben der intramuskulären Nervenanteile. Jetzt ist jene Anschauung gänzlich verlassen: dafür haben die Beobachtungen von Ranvier und Grützner immer mehr Beachtung gefunden, wonach in vielen Skelettmuskeln zwei Arten von Fasern nebeneinander vorhanden sind: blasse, helle, schnell reagierende und rote trübe, langsam reagierende: nachdem Grützner selbst schon früher angedeutet hatte, dass die Zuckungsträgheit bei der Entartungsreaktion wohl auf schnelleres Absterben der ersten und Längererregbarbleiben der letzten zurückgeführt werden könne, hat neuestens Frl. Joteyko¹⁾ auch das frühere Verschwinden der faradischen Erregbarkeit gegenüber der galvanischen nach demselben Prinzip zu erklären gesucht, genauer gesagt (weil nicht in allen Muskeln beide Faserarten nebeneinander vorhanden sind) entsprechend der Theorie von Bottazzi, wonach in jeder Muskelfaser die doppelbrechende Substanz der schnellen Zusammenziehung, das „Sarkoplasma“ einer trägeren „tonischen“ dienen sollte: beim Absterben zerfalle eben die doppelbrechende Substanz und verliere ihre Funktionsfähigkeit eher als das

¹⁾ Mémoires de l'Acad. de Médecine de Belgique 1903 und Ztschr. f. Elektrotherapie, Bd. 6, S. 147; 1904.

Sarkoplasma. In der Tat, auch die Steigerung der galvanischen Erregbarkeit gleichzeitig mit Abnahme der faradischen liesse sich zur Not dadurch erklären, dass durch den Schwund der blassen Fasern resp. der doppelbrechenden Substanz die Stromdichte *ceteris paribus* in den roten Fasern resp. dem Sarkoplasma relativ grösser würde.

Besonderes Kopfzerbrechen aber hat das letzte Symptom der vollständigen Entartungsreaktion verursacht: die Umkehrung des Zuckungsgesetzes. Man war früher geneigt diese Umkehrung als eine wirkliche zu betrachten und mit den histologisch nachweisbaren inneren Strukturänderungen des entarteten Muskels in Zusammenhang zu bringen: besonders Leegard und Bastelberger waren in dieser Richtung hin tätig. Doch schon ein dritter Schüler Ziemssens, Gessler, legte besonderen Wert darauf, dass, wie das für das schnelle Absterben ausgemacht ist, so auch bei der langsamen Entartung das Bindeglied zwischen Nerv und Muskel, das motorische Nervenendorgan zuerst ergriffen wird; er zeigte, dass es auch bei den Regenerationsvorgängen zuerst einsetzt: hiermit war der erste Schritt getan, die Umkehrung der Zuckungsformel auf Leitungsverhältnisse zurückzuführen und als eine nur scheinbare zu erkennen. Hierzu war weiter die, wie wir wissen (S. 98) durch Waller und de Watteville erfolgte nachdrückliche Betonung der Tatsache notwendig, dass bei der üblichen „polaren Reizmethode“ mit einer differentiellen Elektrode sich virtuelle Elektroden mit entgegengesetztem Vorzeichen, insbesondere nach den Enden des gereizten Organs hin „peripolare“ entgegengesetzte Elektroden ausbilden, die ja die Ursache sind, dass überhaupt nicht nur KSZ und AÖZ, sondern auch ASZ und KÖZ in der normalen Zuckungsformel vorkommen. Nun fand Wiener¹⁾, dass entnervte parallelfasrige Froschmuskeln und auch Säugtiermuskeln beim Absterben ihre direkte Erregbarkeit zuerst in der Mitte, in der Gegend der Nerveneintrittsstelle verlieren, während sie an den Enden noch erhalten sein kann: er nahm daher für die polare Reizung des *in situ* befindlichen entarteten Muskels an, dass die Erregbarkeit an den peripolaren virtuellen Elektroden, welche ja entgegengesetztes Vorzeichen haben, grösser sei als unter der in der Mitte liegenden aktuellen, differentiellen Elektrode: die ASZ, welche früher auftritt als die KSZ, ist also gar keine eigentliche Anodenwirkung, sondern nur die Schliessungszuckung von den peripolaren virtuellen Kathoden aus; also die Abweichung vom polaren Erregungsgesetz ist nur eine scheinbare! Zu dem nämlichen Ergebnis kamen auf etwas andere Weise neuestens Achelis und F. Schenck²⁾: sie ahmten die polare Reizung *in situ* (ähnlich wie früher andeutungsweise Filehne) durch tripolare Reizung (vergl. S. 100 Fig. 70)

¹⁾ Deutsches Archiv für klinische Medizin, Bd. 60, S. 264; 1898.

²⁾ Pflügers Archiv, Bd. 106, S. 329 und 368; 1905.

am ausgeschnittenen Nervmuskelpräparat nach, indem sie die mittlere Elektrode dem Nerven in der Ruhe des Muskels, von der „Gabel“ die eine Zinke dem Nerven weiter oberhalb, die andere dem Muskel selbst anlegten; so gab ihnen das normale Präparat für die mittlere Elektrode ganz die bekannte Zuckungsformel $KSZ \begin{Bmatrix} ASZ \\ AÖZ \end{Bmatrix} KÖZ$: am stark ermüdeten Präparat rückte ASZ an KSZ näher heran: sie erklären dies, ebenso wie die „Entartungsreaktion“ durch Behinderung der Leitung im motorischen Nervenendorgane (vgl. oben): Voraussetzung ist freilich, dass sie die polare Reizung von dem „motorischen Punkt“, welcher ja der Nerven-eintrittsstelle in den Muskel entspricht, bei normalem Befund als eine „indirekte“ ansehen: dass sie es nicht mehr ist, und nur bei „direkter“ — peripolarer — Reizung bei der EAR Erregung stattfindet, dafür würde ja eben die Zuckungsträgheit sprechen¹⁾; auf jeden Fall ist von einer wirklichen Umkehrung des polaren Erregungsgesetzes ebenso wenig die Rede, wie von einer Positivität tätiger Muskel- oder Nervenstellen, bei was für Erkrankungs- oder Entartungsfällen es auch sein mag!

Der letzte Grad der Muskeldegeneration bei Erkrankungen der „peripherischen motorischen Neuronen“ (im Sinne der jetzt so viel umstrittenen Neuronenlehre) ist natürlich das völlige Verschwinden auch der galvanischen Erregbarkeit; auch auf raschen Polwechsel — Voltasche Alternativen — hin erfolgt keine Spur mehr von Zusammenziehung.

90. Faradokutane und faradomuskuläre Sensibilität. Pathologische Reaktionen der Sinnesorgane.

Zu diagnostischen Zwecken benutzt hat man ferner auch die Empfindlichkeit der Haut gegen den faradischen Strom: hier als tetanisierender Wechselstrom angewendet und durch auf die Haut gesetzte Metallpinzel zugeführt: Anästhesie, Verlangsamung der Reflexe usw. lässt sich so natürlich gut erkennen; die Lokalisation des elektrischen Reizes ist indessen viel weniger fein als diejenige taktiler Reize. Von dieser „faradokutanen Sensibilität“ wohl zu unterscheiden ist die tiefergelegene Empfindlichkeit der Muskeln für den unter starkem Eindrücken mit knopfförmigen Elektroden applizierten faradischen Strom: diese Untersuchung der „faradomuskulären Sensibilität“, welche Duchenne als erster ausgeführt hat, und welche erst in neuerer Zeit in ihrem Verhältnis zur „kutanen“ genauer präzisiert, auch auf die Anwendung des konstanten Stromes ausgedehnt worden ist (Gregor)²⁾, dürfte für das genauere Studium der Pathologie der Regulationsstörungen der Lokomotion (Ataxie usw.) wohl noch beträchtliche Bedeutung gewinnen.

¹⁾ Vergl. allerdings weiter oben!

²⁾ Pflügers Archiv, Bd. 105, S. 1; 1904.

Auch die früher kurz besprochenen Reaktionen der höheren Sinnesorgane, insbesondere des Sehorgans und Gehörorgans auf den konstanten Strom hat man zu diagnostischen Zwecken benutzt: die wesentlichsten pathologischen Veränderungen bestehen in Steigerungen der Erregbarkeit = „elektrische Hyperästhesie“ — und Herabsetzungen derselben, „Hypästhesie“, die insbesondere beim Gehörorgan hohe Grade erreichen können; auch kann hier schon bei sehr geringer Stromstärke nicht nur KSK1, sondern schon K-Dauerklang auftreten. Eigentliche Änderungen, gar Umkehrungen der normalen Reaktionsformeln, deren Abweichungen vom „polaren Erregungsgesetz“ natürlich auch nur scheinbare sein dürften, sind wohl angegeben, jedenfalls aber nicht häufig und nicht genauer zu bestimmen.

91. Elektrodiagnostik mit Kondensatorentladungen.

Ich halte es für zweckmässig, bevor wir das Gebiet der Elektrodiagnostik verlassen, noch etwas genauer auf den Ersatz der Induktionsströme durch Kondensatorentladungen einzugehen, welcher mit Recht als genauer besonders von J. L. Hoorweg¹⁾, auch von Zanietowski, Cluzet und Mann und anderen empfohlen worden ist: leider scheint die Einführung an der Notwendigkeit etwas umständlicherer Rechnung und dieser zugrunde liegender mathematischer Vorbildung noch auf Schwierigkeiten zu stossen.

Die Reizung durch Kondensatorentladung geschieht in der Weise, dass durch einen, event. automatisch, hin und hergehenden Schlüssel der Kondensator abwechselnd mit der Batterie und mit dem zu reizenden Objekt verbunden wird: zur diagnostischen Verwendung muss man nach Hoorweg mindestens zwei, höchstens drei verschiedene, bekannte Kapazitäten in Mikrofarad zur Verfügung haben, ferner eine Batterie, von der man mit Kollektor und Rheostat beliebige Spannungen abnehmen und an einem Voltmeter ablesen kann; ausserdem aber einen Schlüssel zur direkten Applikation der betr. Batterieströme und ein Milliampèremeter.

Man untersucht nun, bei welcher Spannung V_1 für die bekannte Kapazität C_1 die Minimalzuckung eben auftritt, ebenso bei welcher Spannung V_2 für die Kapazität C_2 ; ausserdem ohne Kondensator die für KSZ nötige Stromstärke i : Nach Hoorweg sind dann zwei Werte von Bedeutung, deren erster α die Anfangsempfindlichkeit, deren zweiter β der Extinktionskoeffizient genannt wird, und welche sich berechnen:

$$\alpha = \frac{\frac{I}{C_1} - \frac{I}{C_2}}{V_1 - V_2}; \quad \beta = i \times \alpha.$$

¹⁾ Vergl. ausser den früher erwähnten Stellen dessen „Medizin. Elektrotechnik“ Leipzig, Engelmann 1893.

Der normale Wert von α soll für die verschiedenen motorischen Punkte zwischen 4,5 und 2, von β zwischen 6 und 1 schwanken; bei traumatischer (Quetschungs-) Lähmung soll α auf 0,24, selbst 0,06, bei völliger Entartung bis auf 0,0006 herabgesunken sein.

Jedenfalls haben die Kondensatorentladungen so kurze Dauer, dass während derselben der Widerstand sich kaum ändert; ein solcher Vorteil fehlt den sinusöidalen Wechselströmen, die neuerdings auch für diagnostische Zwecke empfohlen worden sind: handelt es sich hier doch um noch weniger steile Schwankungen, als bei den gewöhnlichen (wenigstens Öffnungs-) Induktionsschlägen, so dass es kein Wunder nimmt, wenn faradisch unerregbare, also E A R zeigende Muskeln von ihnen noch erregt werden; wir schliessen uns M. Bernhards Autorität¹⁾ an, wonach diese Stromart, ebenso wie die elektrostatischen Maschinen für die Elektrodiagnostik überflüssig und die Unterscheidung besonderer faradischer, galvanischer, sinusöidaler und franklinischer Entartungsreaktionen durchaus müssig ist. — Anders steht es um die genannten Anwendungsformen bewegter Elektrizität zu Heilzwecken, welche uns jetzt beschäftigen wird.

¹⁾ Neurologisches Zentralblatt 1904, Nr. 15 und 16; vergl. auch Kurellas Referat darüber in der Ztschr. f. Elektrotherapie, Bd. 6, Heft 9 und 10; 1904.

Achter Abschnitt.

Elektrotherapie.

92. Allgemeines. Bedeutung der Suggestion. Wissenschaftliche Begründung.

Wenn heutzutage ein Arzt ein Heilmittel anwendet, sei es chemischer, sei es physikalischer Art, so wird sein Bestreben sein, nicht rein der Erfahrung zu folgen, wie der Kurpfuscher oder „Empiriker“, sondern möglichst genaue Kenntnisse von der Wirkungsweise des Heilmittels zugrunde zu legen, wie sie für die chemisch wirksamen durch die pharmakologische Wissenschaft erhalten werden und auch für die physikalischen Heilmittel der Physiologie und experimentellen Pathologie in reichem Masse zu danken sind. Wenigstens werden die Applikationen der Wärme, Kälte, des kalten Wassers, die klimatische Behandlung der Patienten sich nach den Wirkungen auf das Herz, die Gefässe, den Atmungsmechanismus usw. richten, welche mit ihnen nach den Ergebnissen wissenschaftlicher Forschung erzielt werden können und in dem betreffenden konkreten Falle erzielt werden sollen. Leider ist es mit der Elektrizität als physikalischem Heilmittel hier am mangelhaftesten bestellt. Ihre Heilwirkungen sind weit mehr rein empirisch konstatiert, als dass man in jedem Falle bestimmt sagen könnte, auf welchen der einzelnen, im sechsten Abschnitt auseinandergesetzten physiologischen Wirkungen der Erfolg nun eigentlich beruht. Gerade dieser Umstand mag sehr mit dazu beitragen, dass in den nunmehr etwa hundert Jahren ihrer Existenz die Wertschätzung der Elektrotherapie ausserordentlichen Schwankungen unterlegen hat. Auf grosse Anerkennung, gerade in wissenschaftlichen Kreisen, nach den grossen Leistungen eines Duchenne und Rob. Remak folgte eine entschiedene Abflauung

des Enthusiasmus, der sich dann mit der Vervollkommnung der Hilfsmittel und Vervielfältigung der Anwendung durch das Ausblühen der Elektrotechnik im allgemeinen, Mitte und Ende der achtziger Jahre, wieder sehr hob, bis wieder ein rasches Sinken derselben und eine Entwertung der Elektrotherapie in den Augen vieler Ärzte nicht nur, sondern auch des weiteren Publikums eintrat. Diese ging so weit, dass selbst von gewichtigen Stimmen (Möbius u. a.) alle Erfolge des Verfahrens für reinweg eingebildet erklärt wurden. Wir haben hiermit einen weiteren Punkt berührt, welcher für diese Schwankungen der Wertschätzung massgebend ist und die zeitweise Diskreditierung psychologisch durchaus motiviert erscheinen lässt. Die Einbildung, genauer gesagt die seelische, psychische Einwirkung auf den Patienten, die Suggestion zählt zu den durchaus wichtigen, mitsprechenden Faktoren bei der Elektrotherapie. Und wo sie zu sehr in den Vordergrund tritt, wo, wie in neuester Zeit, Methoden empfohlen werden, bei denen die Suggestion der einzige, bei kritischer Prüfung überhaupt nachweisbare Heilfaktor ist, da muss mit dem Erlahmen der suggestiven Wirkung, das niemals ausbleibt, mit dem Eintritte der Enttäuschung nicht nur die betreffende Methode diskreditiert werden, sondern es wird dann gleichzeitig alles Elektrotherapeutische in einen Topf geworfen und kurzerhand gar als „Schwindel“ bezeichnet.

Glücklicherweise aber ist die Suggestion nur einer und zwar derjenige der mitwirkenden Faktoren, welcher zu allerletzt kommen sollte; die Zahl der mächtigen Wirkungen der bewegten Elektrizität als solche ist so gross, dass deren Eintreten, zu einer oder zu mehreren vereinigt, die Heilwirkungen zum grossen Teil bestimmt hervorbringt, wenn wir auch den Mechanismus im einzelnen trotz unserer so sehr vorgeschrittenen elektrophysiologischen Kenntnisse noch nicht genügend übersehen können; und zwar besonders deshalb, weil ja nicht, wie meist in den Versuchen, ein einzelnes Organ, sondern viele gleichzeitig in der verschiedensten Weise beeinflusst werden. Es werden nicht nur cerebrospinale Nerven und Skelett-Muskeln durch Stromschwankungen direkt gereizt, durch die polaren Wirkungen des Stromes („Elektrotonus“) in ihrer Tätigkeit „modifiziert“, eventuell gehemmt, sondern analoge Wirkungen betreffen vor allem auch alle sympathisch innervierten Organe, die glatte Muskulatur der Gefässe der Haut und der Muskeln; endlich ist reflektorische Erregung resp. Hemmung im Bereiche beider Systeme (des zerebrospinalen wie auch des sympathischen) in Betracht zu ziehen, die also die Ernährung (Blutfülle) der oberflächlichen (Haut, Muskeln) wie tieferliegenden Organe notwendig wird beeinflussen, unter Umständen selbst merkliche Wirkung auf den Gesamtstoffwechsel äussern können.

93. Anwendungsformen der Elektrizität.

Wir wissen nun, dass für diese physiologischen, wie auch für die schädigenden Wirkungen der Elektrizitätsbewegung, die Art und Dimensionen — Stromstärke resp. -Dichte, Spannung, Dauer der Schwankung, Steilheit derselben, Wechselfrequenz usw. höchst massgebend sind. Kein Wunder also, dass für die zu erzielende Heilwirkung die Anwendungsweise der elektrischen Ströme durchaus nicht

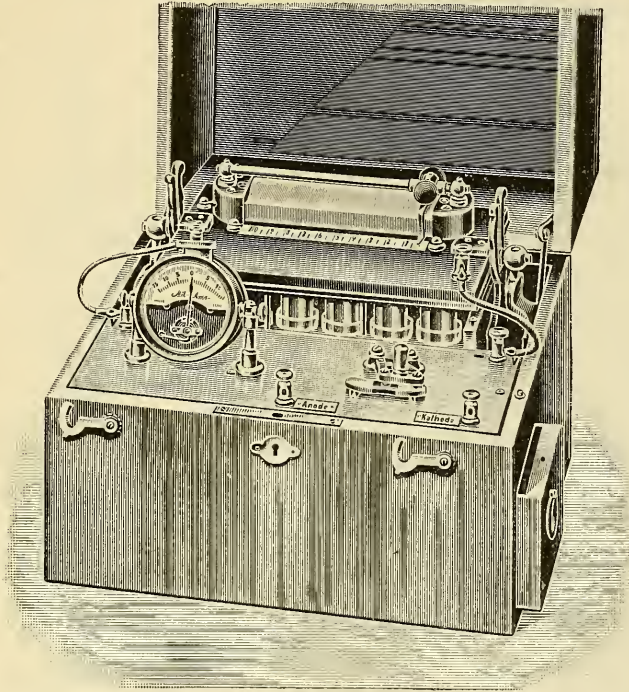


Fig. 85.

(Reiniger, Gebbert & Schall, Erlangen.)

gleichgültig sein kann. Leider ist gerade in dieser Beziehung das Meiste, was wir wissen, weit mehr auf die Erfahrung gebaut, als auf eine „rationelle Begründung“.

Entsprechend der Entwicklung der Elektrizitätslehre und ihrer technischen Anwendungen wurden zuerst die Entladungen elektrostatischer Maschinen zu Heilzwecken verwendet, um dann mit der Einführung des konstanten Stromes — „Galvanisation“ — und des Induktionsstromes — „Faradisation“ — sehr in den Hintergrund zu treten; neuerdings, mit dem Fortschritte im Bau wirksamer und zuverlässiger Influenz-Elektriermaschinen, kommt die „Franklinisation“ wieder zu häufiger Anwendung, wenigstens in Nervenkliniken und bei Elektrospezialisten, und es ist ihr eine weitere Konkurrenz erwachsen in der

Anwendung der hochfrequenten und hochgespannten Ströme („Arsonvalisation“).

94. Galvanisation. Instrumentarium.

Wir beginnen damit, diese einzelnen Anwendungsformen kurz zu besprechen. Apparate zur Erzeugung konstanten Stromes, sowie von gewöhnlichen Induktionsströmen, jedes für sich allein, wird der Arzt gelegentlich Patienten überlassen oder zur Anschaffung empfohlen, wenn länger

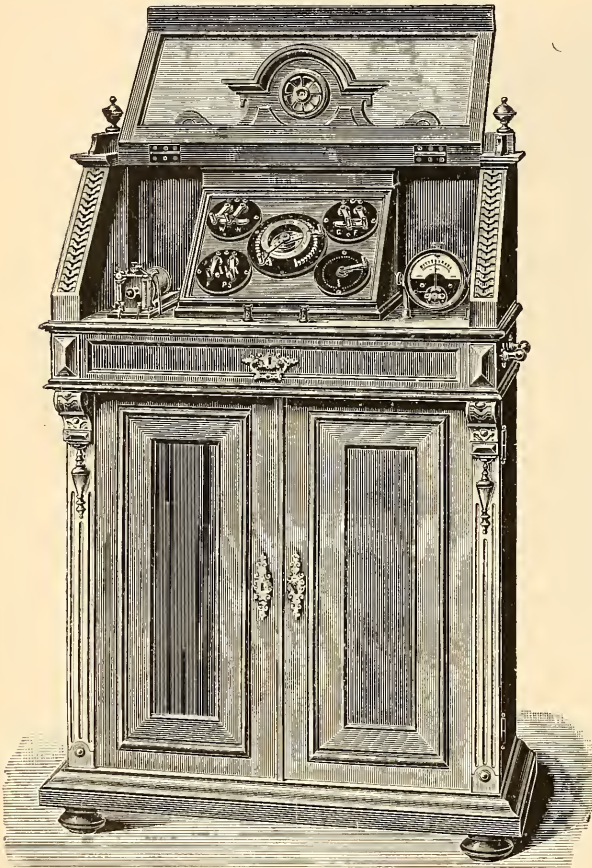


Fig. 86.

(Reiniger, Gebbert & Schall, Erlangen.)

dauernde Selbstbehandlung derselben in eigener Wohnung möglich und den Umständen nach anzuraten ist; der Arzt selbst sollte beiderlei besitzen, und wäre es — bei primitiven Verhältnissen auf dem Lande — auch nur eine jener Chromsäure-Tauchbatterien von 20 bis 40 kleinplattigen Zinkkohleelementen mit einfacher Schaltevorrichtung und wenn möglich Milliampèremeter, siehe Fig. 85; sowie andererseits einen der unten zu beschreibenden kompendiösen transportablen Induktionsapparate. Für grössere Ansprüche wird, wo keine Starkstromquelle vorhanden ist, eine „stationäre Batterie“ zu unterhalten sein, deren Benützung in Verbindung mit einer Schalttafel („Tableau“) erfolgt, welche durchaus unser

bei der Verwendung zu elektrodiagnostischen Zwecken gegebenen Abbildung (Fig. 77) analog, eventuell natürlich mit Nebenapparaten zu den später zu erwähnenden (elektrolytischen, Beleuchtungs-, Röntgen-) Zwecken kombiniert sein kann. Ein Beispiel gibt Fig. 86.

Wo eine Starkstromquelle mit Gleichstrom vorhanden ist, da wird ohne weiteres Anschluss statthaben können. Fig. 87 zeigt eine Anschluss tafel, welche auch die Stromabnahme für den angebrachten Induktionsapparat, ferner für elektrolytische und kataphorische

Massnahmen (s. später), sowie für kleine Glühlampen zur Beleuchtung innerer Körperhöhlen („Endoskopie“) gestattet, und dessen Anordnung und Benutzung nach dem oben gesagten leicht verständlich sein dürfte.

Wo Wechselstrom vorhanden ist, ist natürlich Transformierung in passend gespanntem Gleichstrom notwendig — durch einen Wechselstrom-Gleichstrom-Transformer, vergl. S. 33 — und zwar für Galvanisation, ebenso wie für Elektrodiagnostik und Elektrolyse unum-

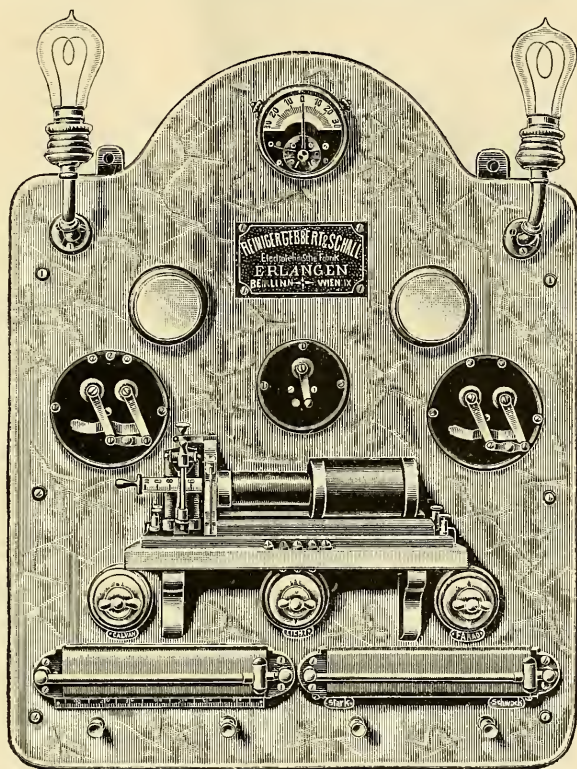


Fig. 87.

(Reiniger, Gebbert & Schall, Erlangen.)

gänglich, für Faradisation nur soweit, als diese mit dem gewöhnlichen Schlittenapparat erfolgen soll (nicht aber, wie wir später sehen werden, für sinusoidale Faradisation), nicht nötig für Beleuchtung und Kaustik (Zerstörung von Geweben mit dem elektrischen Glühbrenner).

Unumgänglich nötig für die Galvanisation ist natürlich das Milliampèremeter und die fein abstufbaren Rheostaten (event. Voltregulator); ganz besonders empfehlenswert ist der Doppelwiderstand-Anschlussapparat der Gebr. Ruhstrat in Göttingen, welcher gewissermassen zwei in denselben Stromkreis geschaltete Voltregulatoren darstellt, den einen mit feinem, den andern mit dickem Draht bewickelt: siehe Fig. 88a und b, wo aa' die zuführenden, cc' die abführenden Klemmen sind;

der eine Schieber bewirkt die grobe, der andere die feine Regulierung. Man muss es sich (ebenso wie bei der Elektrodiagnostik) zur Regel

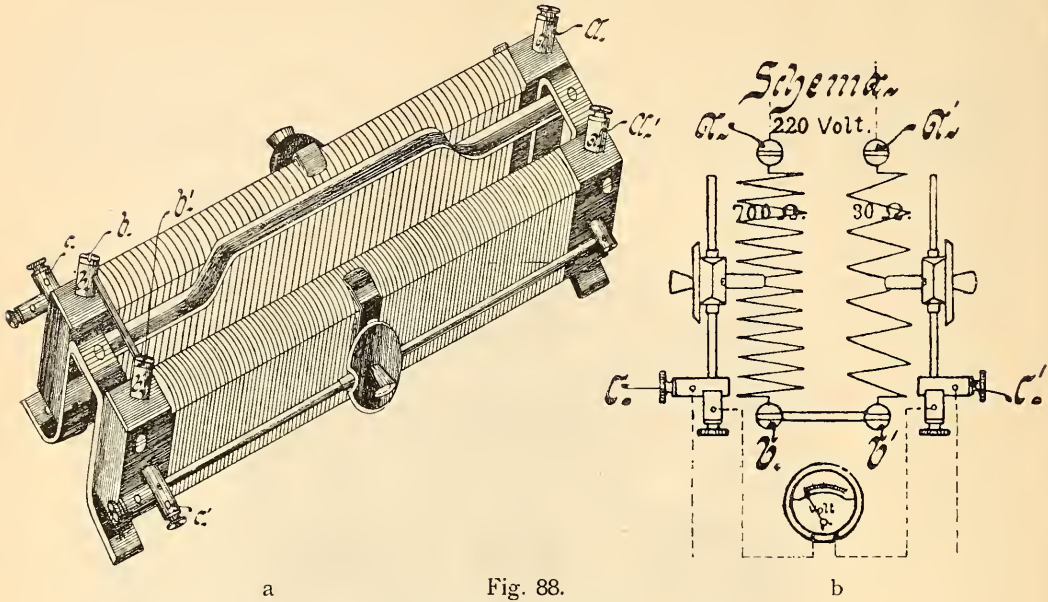


Fig. 88.
(Gebr. Ruhstrat in Göttingen.)

machen, mit ganz schwachem, unmerklichem Strome jede Behandlung (Sitzung) zu beginnen und die Stärke allmählich

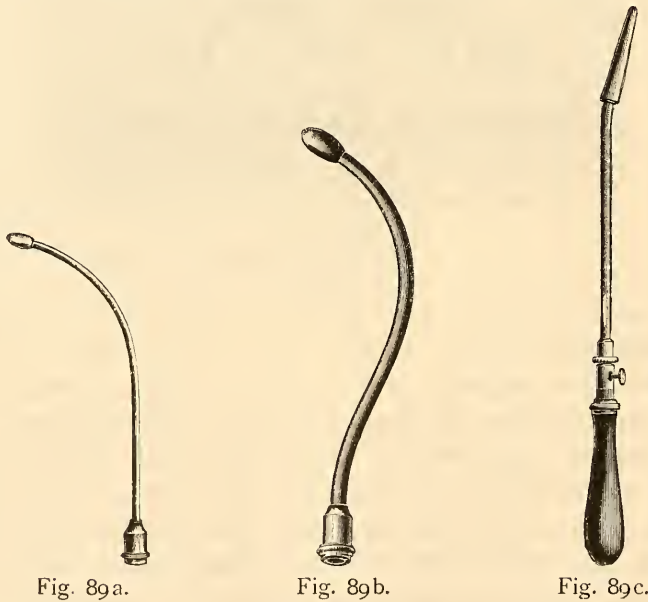


Fig. 89a.

Fig. 89b.

Fig. 89c.

zu steigern. Dies hat Gültigkeit sowohl für die Anwendung der Galvanisation als lokalisierter, wie als generalisierter Applikation — „all-

gemeiner Elektrisation mit dem konstanten Strome“. Indem wir die Besprechung der Methoden zur Elektrisation des ganzen Körpers bis nach Erledigung der Faradisation verschieben, erwähnen wir hier zunächst, dass für den Spezialisten zur Behandlung mit dem konstanten Strom natürlich eine viel grössere Zahl von Elektrodenformen in Betracht kommt, als zur Elektrodiagnostik, da eventuell alle möglichen Organe, auch von inneren Körperhöhlen aus, der Behandlung unterzogen werden können. Fig. 89 zeigt Ansätze an die Elektrodenhalter a für den Kehlkopf, b für den Mastdarm, c eine Elektrode für die Gebärmutter. Selbstverständlich funktionieren dieselben stets als „differente Elektroden“, während eine grosse Platte in schon bei der Elektrodiagnostik erwähnter Weise als indifferente Elektrode dient.

Man unterscheidet ferner, je nachdem ob die differente Elektrode während der Dauer der Sitzung (5—10—15 Minuten) gleichmässig aufgesetzt gehalten wird, oder bewegt, damit hin- und her gefahren wird, die „stabile“ oder „labile“ Galvanisation. Letztere dürfte bei Rückenmarkserkrankungen den früher üblichen, sehr grossflächigen, insbesondere in die Länge gehenden „Rückenmarkselektroden“ vorzuziehen sein.

95. „Indikationen“ der Galvanisation.

Von Lähmungen müssen mit dem galvanischen und nicht faradischen Strom behandelt werden die „degenerativen“. Der faradisch unerregbar gewordene Muskel kann durch den faradischen Strom doch nicht in Tätigkeit versetzt werden und damit vor der schnellen Atrophie durch Untätigkeit bewahrt werden, wohl aber ist dazu geeignet labiles Bestreichen mit gut gefeuchteter Elektrode von 10—20 qcm Fläche, nicht über 6 Milliampère! Geradezu die Restitution verhindern würde Faradisation des peripherisch erkrankten Nerven (z. B. bei rheumatischer Facialislähmung). Hier hat stabile Galvanisation mit aufgesetzter Kathode, 4—8 Milliampère einzutreten, als geeignetes „Reizmittel“. Umgekehrt „modifizierend“, beruhigend (Anelektrotonus) kann der konstante Strom wirken bei mit Reizzuständen verbundenen Nerven- und Muskelkrankungen. Wo „Nervenzuckungen“ z. B. im Gesicht (Facialis-Tic) vorhanden sind, wo im Beginne gewisser Rückenmarkserkrankungen (spastische Spinalparalyse) der spasmodische Typ der Muskelzuckung (Mendelssohn s. oben) sich zeigt, oder weiterhin Lähmungen mit Kontrakturen verbunden sind, wird man die Anode und zwar hin- und her bewegt applizieren.

Auch für viele Neuralgien zeigt sich der galvanische Strom der Faradisation überlegen: differente Anode auf dem Kopf, indifferente Kathode im Nacken, bei manchen Arten von Kopfschmerz; bei Ischias usw. ist auch bipolare Anwendung des konstanten Stromes empfohlen worden und zwar als absteigender, d. h. also, wie uns von früher her bekannt,

längs des Nervenverlaufes die Anode nach dem Zentralnervensystem, die Kathode nach der Peripherie zu angelegt.

Französische Spezialisten (Bergonié u. a.) haben neuerdings empfohlen, z. B. bei Trigeminusneuralgien bei relativ grosser (200—250 qcm) differenter Anode auf dem betroffenen Gebiet (indifferente Kathode im Nacken) die Stromstärke allmählich bis auf 35—50 Milliamp. (!) zu steigern, 15—25 Minuten derart einwirken zu lassen und dann ebenso langsam wieder absinken zu lassen (an- und abschwellende Galvanisation).

Wichtig ist gerade bei den Neuralgien die häufige Wiederholung der Elektrisierung in kürzeren Sitzungen, weshalb ein Apparat im Hause des Patienten, wo es möglich, wünschenswert, der faradische aber doch immerhin das minder wertvolle Surrogat erscheint.

96. Faradisation. Instrumentarium.

Der transportablen Induktionsapparate gibt es ein Heer von Konstruktionen: über die statt des Schlittens gewöhnlich angewendeten Reguliermittel ist schon im ersten Abschnitt (S. 28, 29) das Nötige gesagt, besonders verbreitet unter den Apparaten in Kastenform ist die Spammersche Konstruktion (Figur 90), zu deren Betrieb kleine Chromsäuretachelemente dienen, deren vierkantige Gläser eben nur eine kleine runde Öffnung lassen, durch welche beim Betrieb ein kleiner Zinkstab eingetaucht wird, während sie beim Transport durch einen Gummistopfen verschlossen wird. Die Regulierung erfolgt hier durch Herausziehen resp. Hineinschieben des Eisendrahtbündels; indessen hat man auch transportable Schlittenapparate konstruiert, ferner die Chromsäureelemente durch Leclanché- oder noch besser durch Trockenelemente ersetzt usw. Die bei

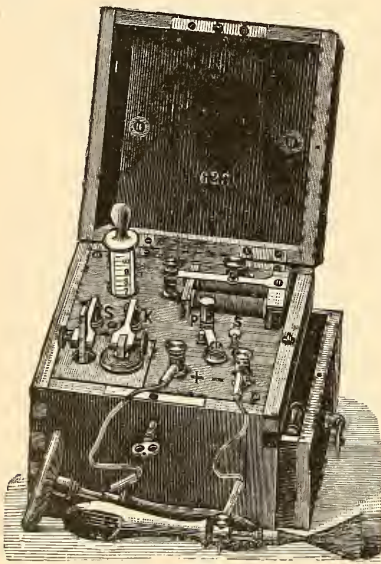


Fig. 90.

grossen stationären Apparaten verwendeten Schlitteninduktorien haben vielfach einen automatischen Unterbrecher mit regulierbarer Frequenz, im allgemeinen in einer aufrechten auf dem Wagnerschen Hammer angebrachten Pendelstange bestehend, längs welcher ein kugelförmiges Gewicht verschoben werden kann; je höher dasselbe steht, um so langsamer, je niedriger, um so schneller schwingt der Unterbrecher (Konstruktion von Moritz Meyer, Tripier u. a.). Sehr zweckmässig kann auch der immer etwas unregelmässig arbeitende Federunterbrecher durch einen kleinen Elektromotor mit guten Schleiffedern auf sorgfältig gearbeiteter Achse (mit Halb- oder Drittelschleifringen) — Doppel T- oder besser Dreipolanker — ersetzt werden.

An Gleichstrom-Hausleitung kann das Induktorium, auch ohne grösseres Schaltbrett einfach durch Vorschaltung einer Glühlampe und eventuell Vorschaltung eines passenden Widerstandes angeschlossen werden: einen recht wohl für Patienten, welche elektrische Beleuchtungseinrichtung in der Wohnung haben, sich eignenden transportablen und doch anschliessbaren Apparat zeigt Fig. 91.

97. „Indikationen“ der Faradisation.

Wie wir wissen, ist der Induktionsstrom das Reizmittel par excellence für normal funktionierende Nerven und Muskeln und er wird daher mit Erfolg dort angewendet werden, wo es gilt, normal funktionierende Muskeln und Muskelgruppen vor dem Funktionsuntüchtigwerden und Abmagern durch Untätigkeit (Inaktivitätsatrophie) zu bewahren, also insbesondere nach Knochenbrüchen, Verrenkungen, bei chronischen Knochen- und Gelenkleiden der verschiedensten Art, überall da, wo Stö-

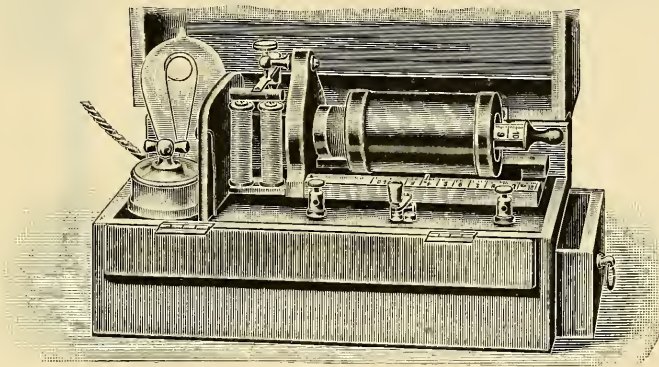


Fig. 91.

(Reiniger, Gebbert & Schall, Erlangen.)

rungen der Beweglichkeit, Verdickungen an Knochen und Gelenken, noch bestehende Schmerzhaftigkeit die willkürliche Bewegung hindern: hier schafft die Muskelkontraktion durch den künstlichen faradischen Reiz einen Ersatz für den ausfallenden natürlichen, ermöglicht eine „passive Übung“. Die faradische Behandlung ist darum heutzutage von grösster Bedeutung nach geheilten Verletzungen durch Unfälle zur raschen Wiedererlangung normaler Beweglichkeit und Arbeitsfähigkeit, wo sie konkurriert und aufs glücklichste kombiniert werden kann mit der Massage der betroffenen Muskeln, weiterhin auch mit aktiver wie auch passiver (Widerstands-) Gymnastik.

Man wird hier die eine, differente Elektrode nicht nur auf die motorischen Punkte aufsetzen, sondern über dem ganzen betroffenen Muskel hin- und herbewegen und man kann sie so konstruieren, dass sie gleichzeitig zur Ausübung der mechanischen Knetung oder Massage dienen kann: Massagerollen-Elektrode, Figur 92.

Wir haben bereits erwähnt, dass für die Behandlung von Lähmungen der konstante Strom vorzuziehen ist, dass bei Entartungsreaktion und bei Lähmungen mit Reizzuständen resp. Kontrakturen der faradische Strom überhaupt nicht angewendet werden darf („kontraindiziert ist“).

Auch bei allen Schmerzen, welche mit Entzündungen der Nerven zusammenhängen, ist er verpönt; dagegen wird er bei oberflächlicheren Neuralgien hinwiederum direkt als schmerzstillendes Mittel gelobt.

Überhaupt ist sein Hauptanwendungsgebiet dasjenige der „funktionellen Neurosen“, speziell in den Symptomenkomplexen der Neur-

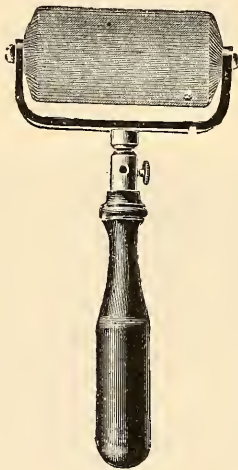


Fig. 92.



a



b

Fig. 93.

asthenie und Hysterie. Hier wird er als kräftiges Reizmittel auf reflektorischem wie psychischem Wege (Schreckwirkung) Anästhesien der Haut, wie insbesondere Lähmungen — bes. hysterische Kehlkopflähmungen — erfolgreich bekämpfen: man macht hierzu die differente Elektrode noch wirksamer, indem man ihr die Gestalt eines Drahtpinsels (faradischer Pinsel, (Fig. 93a) oder einer Drahtbürste (Fig. 93b) gibt.

Selbstverständlich darf die Anwendung des faradischen Pinsels nicht übertrieben werden, so dass er zum „klinischen Folterwerkzeug“ wird; überhaupt soll jedes Schmerzhaft- resp. Unerträglichwerden der Faradisierung vermieden werden, was, wie wir unten sehen werden, leicht durch Ersatz der gewöhnlichen Induktionsströme durch sinusoidalen Wechselstrom zu erzielen ist.

Faradisation wie auch Galvanisation der Magenschleimhaut und anderer drüsiger Organe zum Zwecke der Verstärkung oder Regulierung der Sekretion, wie sie vielfach geübt worden ist, scheint nach dem jetzigen Stand der Forschung vielen Erfolg nicht zu verheissen, dagegen ist eine auf nachgewiesener Wirksamkeit beruhende, praktisch höchst wertvolle Anwendung kräftiger faradischer Ströme diejenige zur Resorption

(Aufsaugung, Rückbildung) von Ausschwitzungen (Exsudaten), narbigen Verdickungen, Verwachsungen als Entzündungsreste: besonders die Frauenheilkunde vermag für die Behandlung derartiger Zustände (oft zusammen mit geeignetem Massageverfahren) geeignete Fälle zu liefern.

Endlich sind es nervöse Reiz- und Schwächezustände im Gebiete besonders des männlichen Geschlechtsapparates (sexuelle Neurasthenie, psychische Impotenz, Pollutionen, Spermatorrhöe), welche bei der Behandlung mit dem faradischen Strome vielfach auffällige Besserungen, ja prompte Heilerfolge zeigen.

Natürlich müssen für alle diese Spezialfälle geeignete, dem Objekt angepasste Elektroden verwendet werden, von denen wir bereits Beispiele gegeben haben.

98. Galvanofaradisation.

Angesichts der verschiedenartigen und spezifischen Heilwirkungen des konstanten Stromes einerseits und der gewöhnlichen Induktionsströme

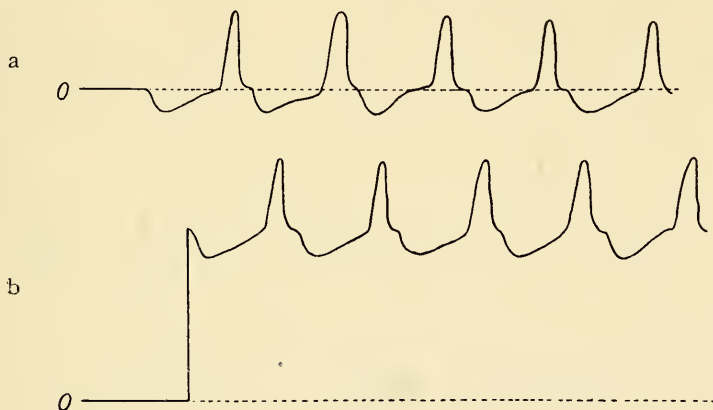


Fig. 94.

a faradischer, b „galvanofaradischer“ Strom.

andererseits, kam man auf den Gedanken, bei geeigneten Krankheitsfällen die Wirkungen beider zu kombinieren, indem man eine konstante Stromquelle und die sekundäre Rolle eines in Tätigkeit befindlichen Induktors mit dem Patienten hintereinander in denselben Stromkreis schaltete: sog. Galvanofaradisation (de Watteville u. a.). Ob es sich einfach um Kombination der Wirkungen beider handeln wird, erscheint freilich etwas zweifelhaft, da der „konstante Strom“ eben nicht mehr völlig konstant ist, sondern durch die algebraisch addierten, in der Kurve superponierten Wechselströme des Induktors Schwankungen abwechselnd im Sinne der Schwächung und Verstärkung erfährt: nur wo die schwächeren Schliessungsschläge dem konstanten Strom entgegengesetzt gerichtet und dessen Intensität so gross ist, dass sie ihn niemals annullieren, wird

dauernd die Kurve (Figur 94b, 94a zeigt den Induktionsstrom für sich allein) über der Abszissenachse bleiben, der Strom also ähnlich einem unterbrochenen oder „pulsierenden“ Gleichstrom wirken, doch mit einer konstanten Komponente.

99. Sinusstrom.

Was dem faradischen Strom aber immer anhaftet, ob er nun allein oder in der obigen Weise superponiert angewendet wird, das ist die starke Steilheit der Öffnungsschläge, der in seinen einzelnen Teilen sehr unregelmässige, d. h. brüsk wechselnde Verlauf der gesamten Stromschwankung (vergl. schon S. 26 und oben Fig. 94a), endlich aber die Ungleichmässigkeit, die durch die Abnutzung der primären Stromquelle, vor allem das unkontrollierbare Spiel des Unterbrechers (Funken! Verbrennen der Platinspitze und Platte usw.) verursacht wird, und in dem unregelmässigen Stechen, bei grösserer Stromstärke direkt unerträglicher Schmerzhaftigkeit zum Ausdruck kommt. An dessen Stelle Vorrichtungen empfohlen zu haben, welche Wechselströme von dem im ersten Abschnitt ausführlich gewürdigten einfachsten Typus mit dem ganz allmählich zu- und abnehmenden Verlauf der Sinuskurve liefern, ist das entschiedene und bedeutende Verdienst der Franzosen (d'Arsonval¹⁾, Apostoli²⁾ u. a.).

Für diese „Behandlung mit Sinusstrom“ — als Voltisation sinusoïdale, richtiger sinusoïdale Faradisation bezeichnet — kann ein von einer Zentrale gelieferter Wechselstrom oder Dreiphasenstrom ohne weiteres benutzt werden, da die betreffenden Maschinen schon nahezu sinuskurvenförmige Stromschwankungen liefern: natürlich muss durch Rheostate und event. Zweigleitung (Voltregulator) die Spannung wie beim Gleichstrom zur Galvanisation richtig reguliert werden: abgesehen von dem hierdurch entstehenden Stromverlust ist die übliche Frequenz von etwa 50 Wechseln in der Sekunde für die vorliegenden Zwecke etwas hoch, so dass man selbst bei Wechselstrom im Hause vorgeschlagen hat, durch denselben einen Motor (Drehstrommotor) treten zu lassen, mit dessen Achse eine kleine Wechselstrommaschine verkuppelt ist, welche Wechselstrom passender niedriger Wechselzahl liefert: eine analoge Anordnung, die Kuppelung der Wechselstrommaschine mit einem gewöhnlichen Gleichstrommotor — das auf S. 31 erwähnte Prinzip des Gleichstrom-Wechselstromtransformators — kann benutzt werden, um bei Gleichstrom im Hause die sinusoïdale Faradisation zu ermöglichen: die Wechselstrommaschine wird dann zweckmässig gleich diesem Zweck entsprechend, — nach d'Arsonval, siehe S. 34 unten

¹⁾ Archives de physiologie 1893, S. 387.

²⁾ Archives d'Électricité médicale, 1897, 99, 1900 usw.

— gebaut werden. Indessen geht für den in Rede stehenden schwachen Sinusstrom die Sache noch einfacher: man lässt durch den Gleichstrom einen gewöhnlichen Motor — umgekehrt geschaltete Dynamomaschine — treiben: werden zwei um 180° von einander abstehende Windungen des Ring- oder Trommelankers dieses Motors mit zwei auf der Achse isoliert angebrachten (an dem dem zuführenden „Kollektor“ entgegengesetzten Ende natürlich!) Schleifringen verbunden und von diesen durch Schleiffedern abgeleitet, so erhält man, wie aus dem Prinzip des Pacinottischen Ringes leicht verständlich, einfachen Wechselstrom in Sinusform; bringt man drei mit drei gegeneinander um 120° verschobenen Windungen verbundene Schleifringe

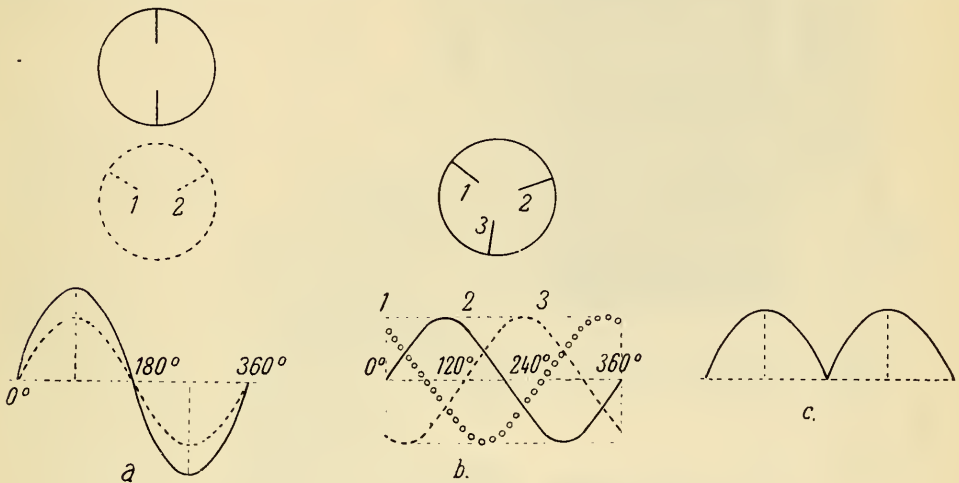


Fig. 95.

an, so hat man zwischen allen drei Schleiffedern sämtliche drei Phasen eines sinusoiden Dreiphasenstromes, zwischen je zwei Schleiffedern einfache Wechselströme mit 33% geringerer Spannung als oben; Figur 95 gibt in a und b die Schaltungen und darunter das Schema der Stromverläufe. Endlich kann man durch passende, mit dem Motor rotierende „Kommutatoren“ auch die beiden Hälften des sinusförmigen Wechselstromes gleich richten, so dass man einen sehr gleichmässig zwischen Null und dem Maximum nur in einem Sinne schwankenden Strom, „pulsierenden Gleichstrom“ erhält: Figur 95.

Der Sinusstrom solcher Vorrichtungen ist immerhin noch recht niedrig gespannt, weil die Motoren wenige dickdrähtige Windungen haben: er wird durch einfache Schlitteninduktorien ohne Unterbrecher auf höhere Spannung transformiert; will man alle drei Phasen benutzen, so müssen deren drei vorhanden sein: Figur 96 zeigt eine vollständige, durch Zentralen-Gleichstrom oder Akkumulatoren zu betreibende

derartige Einrichtung: unten den „Motor-Sinusoidaltransformer (links die drei Ableitungen, rechts der Kollektor), oben die Schalttafel mit drei Transformatoren für die drei Sinusoidalphasen und zu unterst ein Schlitten-

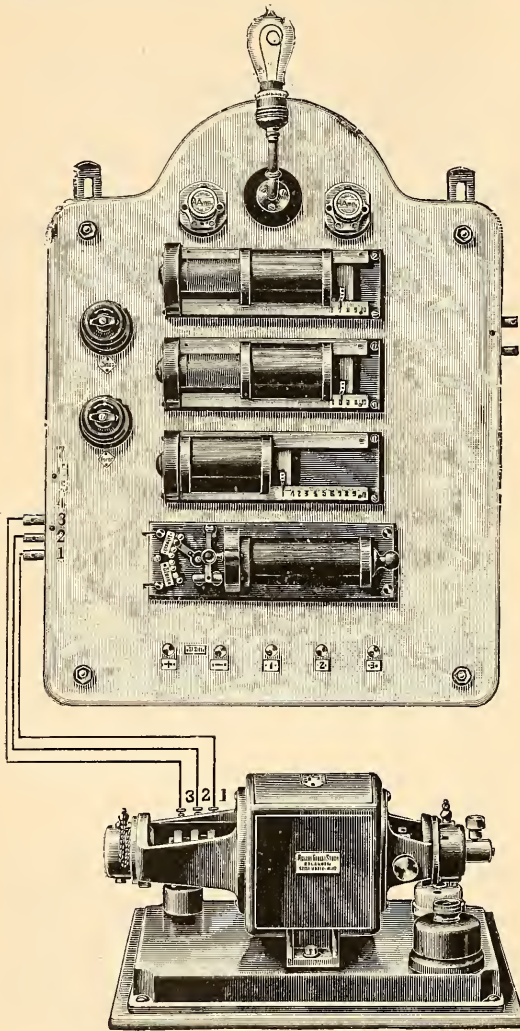


Fig. 96.

induktorium für gewöhnliche Faradisation. Wie wir später sehen werden, lässt sich der Motor auch für Hilfsarbeiten: rotierende chirurgische Instrumente und Vibrationsmassage verwenden, sowie eventuell auf Heruntertransformierung zu hoch gespannter Gleichströme einrichten.

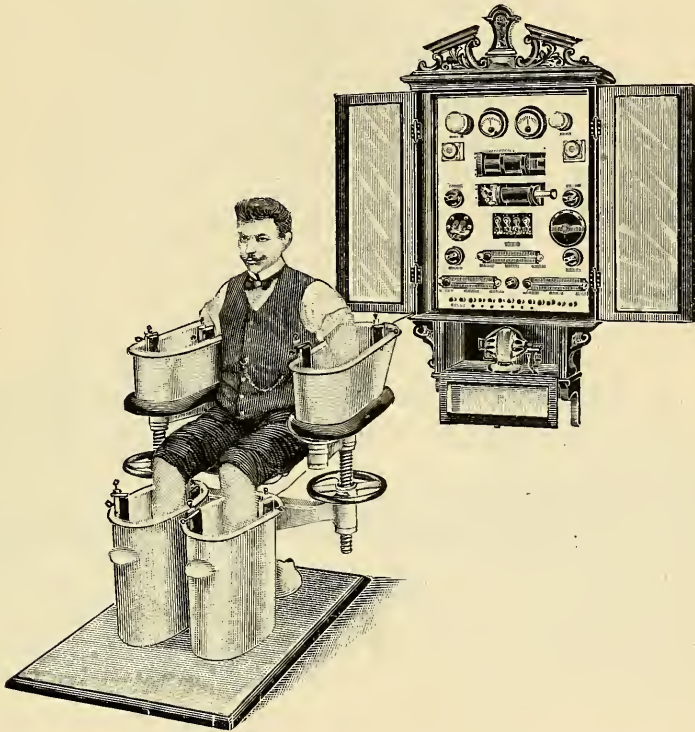
100. Allgemeine Elektrisierung des menschlichen Körpers. Elektrische Bäder.

Man hat den sinusoidalen Strom empfohlen bei allgemeiner Muskelschwäche, bei Vorfällen der Gebärmutter und des Mastdarms infolge von solcher, bei Gebärmutterfibromen, bei Neurasthenie, neuerdings vor allem aber auch bei gewissen Herzleiden (Smith und Hornung, Stoll) und zwar hier in einer Applikationsweise, bei welcher der ganze Körper durchströmt werden kann, die aber in gleicher Weise natürlich auch wichtig ist für die Anwendung des gewöhnlichen faradischen, des galvanischen und des superponiert galvanofaradischen Stromes: diese allgemeine Elektrisierung — Galvanisierung, Faradisierung, Galvanofaradisierung, sinusoidale Faradisierung — des menschlichen Körpers kann nun zwar vorgenommen werden durch möglichst ausgebreitete Behandlung mit Massage-rolle- oder Bürstenelektroden (s. oben), angenehmer, wirksamer, überhaupt zweckmässiger ist aber die Form der elektrischen Bäder.

Schon ein Körperteil — Hand, Arm, Bein kann gleichmässiger von den Stromlinien durchsetzt werden, wenn man es, statt eine „differente“ Elektrode zu applizieren, in ein Gefäss mit Wasser taucht,

Schon ein Körperteil — Hand, Arm, Bein kann gleichmässiger von den Stromlinien durchsetzt werden, wenn man es, statt eine „differente“ Elektrode zu applizieren, in ein Gefäss mit Wasser taucht,

welchem der Strom durch eine eingetauchte Metallelektrode zugeführt wird. Das gleiche gilt für den ganzen Körper eines Patienten, welcher in einer Badewanne von normaler Grösse badet: es kann nun die Wanne von Metall, aber zur Vermeidung von Ätzwirkungen innen mit einem dünnen Holzgitter überzogen sein; sie bildet die eine Elektrode, während quer über ihr ein Metallstab oder Bügel angebracht ist, der die andere Elektrode bildet und dessen mit angefeuchtetem Zeug überzogene Oberfläche der Patient mit



E.E. SANITAS BERLIN.

Fig. 97.

den Händen anfasst — monopolare Methode, A. Eulenburg — oder es kann die Wanne auch aus Marmor, Porzellan, Glas, am einfachsten aus Holz sein und eine aus einer eingehüllten Metallplatte (Aluminium, auch Kohlenplatte) bestehende „Schaufelektrode“ irgendwo eintauchen, sonst der Bügel usw. wie oben — S. Th. Stein —; oder endlich können zwei Plattenelektroden in der Badewanne sein, eine am Kopf- und eine am Fussende, wobei noch eine hölzerne Scheidewand, die gerade den Körper des Badenden durchlässt, in der Mitte der Quere nach angebracht sein kann: „dipolare Methode.“ Je nachdem (bei konstantem Strom) wo hier die Anode und Kathode liegt, resp. beim mono-

polaren Bade, ob die Anode oder Kathode im Wasser liegt, sollen die Wirkungen auf Muskel- und Nervenregbarkeit, Stoffwechsel usw. sehr verschiedenartig sein (Eulenburg, Lehr); es ist unmöglich, an dieser Stelle genauer darauf einzugehen. Nicht nur Hysterie, Neurasthenie, nervöse Schlaflosigkeit, sondern auch Gelenkleiden, Gicht, Basedowsche Krankheit sollen durch die elektrischen Bäder sehr günstig beeinflusst werden; in den letzteren Fällen soll die Dauer des Bades bis zu einer halben Stunde gesteigert werden können. Das elektrische Vollbad erlaubt auch die Faradisation mit allen drei Phasen des Drehstroms gleichzeitig (siehe S. 33). Für mehr örtliche Zwecke, sowie für Durchströmung des Körpers in ganz bestimmter Richtung ist man von der dipolaren Methode aus noch weiter gegangen, indem man je einen Arm oder je ein Bein, oder einen Arm und ein Bein in getrennte, je eine Elektrode aufnehmende Wassergefäße hat eintauchen lassen — „Zweizellenbad“ —; die modernste, mit vieler Reklame ausposaunte „hydroelektrische“ Applikation endlich ist das „elektrische Vierzellenbad“ nach Schnée (Figur 97), bei welchem jede der vier Extremitäten in eine besondere Zelle taucht und je nachdem (beim konstanten Strom), was für eine Elektrode in jeder der vier Zellen befindlich ist, 12 verschiedene Durchströmungsarten des Körpers ermöglicht sind (siehe die in damit versehenen Heilanstalten aufgehängten Schemata). Auch hydroelektrische Duschen und Brausen sind empfohlen worden.

101. Franklinisation.

Die gänzlich zurückgetretene therapeutische Verwendung der Entladungen elektrostatischer Maschinen erfuhr alsbald nach der Erfindung der „Elektrophormaschine“ durch Holtz seitens Fromholt und Schwanda und anderer einen neuen Anstoss; später wurde besonders durch Charcot, Tripier u. a. in Frankreich, O. Mund, Benedikt u. a. in Österreich, neuestens durch Schatzkij¹⁾ in Russland die „Franklinisation“ zum anerkannten Rüstzeug der Nervenheilkunde erhoben.

Gute Töpler-Holtzsche, sowie Vosssche selbsterregende Influenzmaschinen (S. 5) eignen sich, wenn genügend solide gebaut; mit Scheibendurchmesser von 50 bis 60 cm, recht wohl für therapeutische Zwecke: eine gewisse Unzuverlässigkeit je nach der Witterung, Neigung zum Polwechsel liess sie hinter der etwas abweichenden Konstruktion von Whimshurst etwas zurücktreten.

Die Whimshurstschen Influenzmaschinen, Figur 98, haben zwei um die nämliche Achse mit gleicher Geschwindigkeit gegeneinander drehbare Scheiben, welche sehr gut aus Hartgummi gefertigt sein können; sie sind auf den abgekehrten Seiten mit zahlreichen metallischen Sektoren mit oder

1) Ztschr. f. Elektrotherapie, 1901, S. 1; 1903, S. 1 ff.

ohne knopfartige Verdickungen in der Mitte belegt; vor jeder steht ein „Ausgleichskonduktor“ mit je zwei Reibepinseln, so, dass derjenige der einen Scheibe mit demjenigen der anderen einen Winkel von etwa $60-80^{\circ}$ bildet. Die Saugarme der Hauptkonduktoren stehen in der Höhe der Achsen und umgreifen beide Scheiben. Dieselben sind in üblicher Weise mit Leydenerflaschen zu verbinden. Die Wirkungsweise ist nach dem

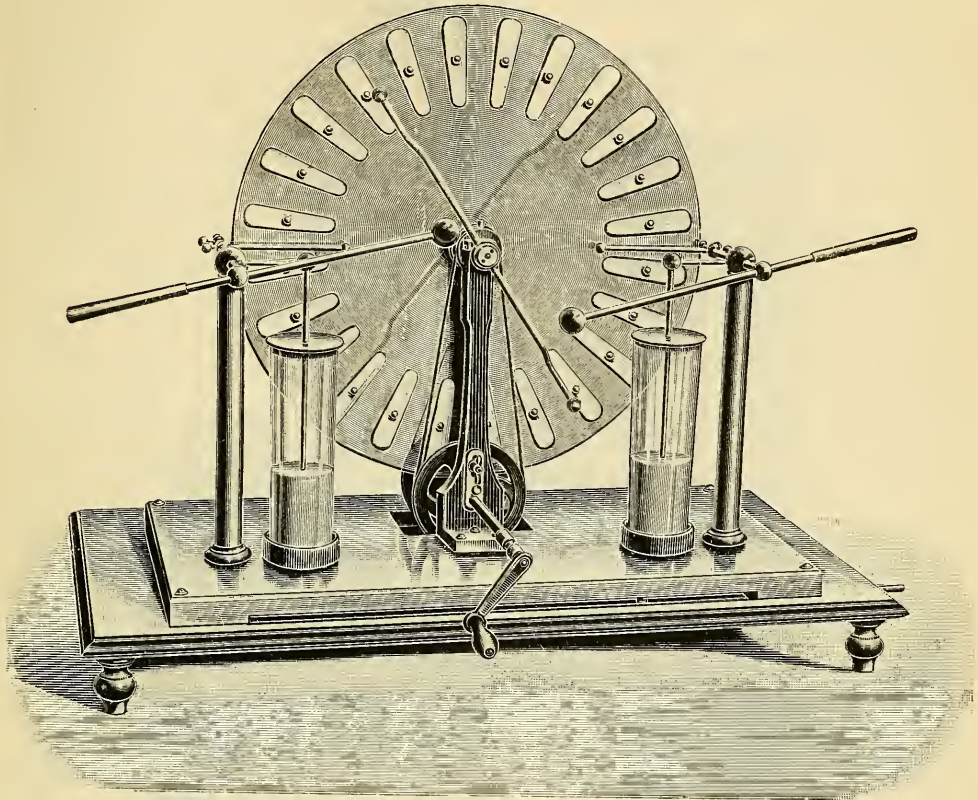


Fig. 98.

Influenzmaschine nach Whimshurst.

früher über die Holtzsche Maschine Gesagten eher noch leichter verständlich.

Die Influenzmaschine muss jedenfalls zur Abhaltung von Staub und Feuchtigkeit in ein Glashaus eingeschlossen sein, das event. durch unterzusetzende Gas- oder Spiritusbrenner oder eine innenbefindliche Glühlampe „heizbar“ sein kann; besser als mit der Hand wird sie durch Übertragung aufs Langsame mit Schnurlauf seitens eines ausserhalb des Glashauses befindlichen Wasser- oder am besten Elektromotors angetrieben; dieser kann event. auch für chirurgische Hilfsleistungen und für Vibrationsmassage benutzt werden. Oben über dem Dache des Glashauses sehen Konduktoren mit Funkenstrecke und Elektroenträger heraus, siehe Fig. 99, welche eine neuere verbesserte Modifikation, die zwischen der

Holtzschen und der Whimhurstschen Konstruktion die Mitte hält, darstellt (nach Reiniger, Gebbert und Schall).

Die Anordnung bei der Behandlung kann eine sehr verschiedene sein: zunächst kann der Patient mit der Erde in Verbindung

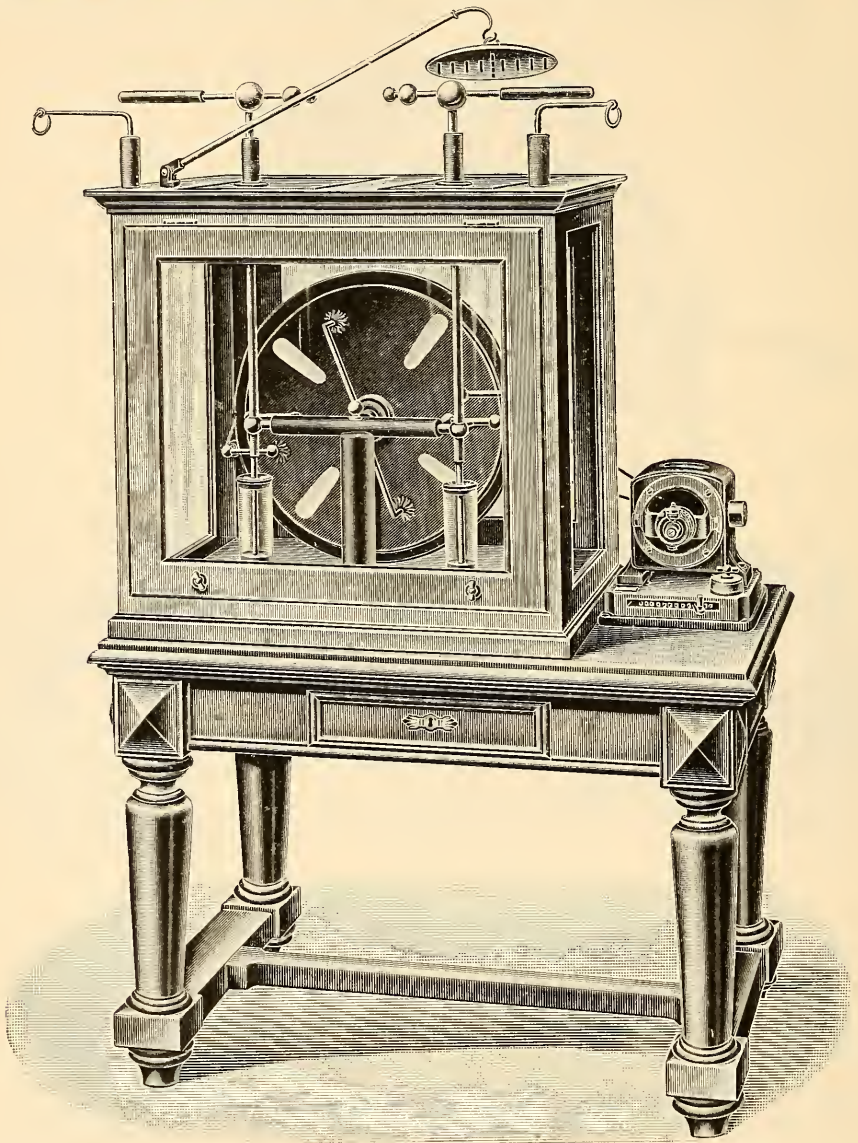


Fig. 99.

(Reiniger, Gebbert & Schall, Erlangen.)

sein, desgleichen der eine (negative) Konduktor, während die Funkenstrecke etwa 5 cm beträgt und der andere, positive Konduktor in eine Spitze ausläuft, welche mindestens ebenso hoch über dem Kopfe des Patienten nach diesem gerichtet ist: während des Ganges

der Maschine erfolgt hier eine Büschelentladung, welche das Gefühl des kühlenden „elektrischen Windes“ erzeugt. Statt einer Spitze kann eine Platte, Glocke oder ein Ring mit deren vielen angewendet werden — Franklinsche Dusche (Kopfglocke) —, es kann auch ein feuchter Schwamm an deren Stelle gesetzt werden, dessen Inhalt als feuchter Regen zerstäubt und auf dem Kopfe ein angenehmes, eigenartiges Gefühl erzeugt: alle diese Applikationen sind bei Migräne, Neuralgien und Anästhesien (Ameisenlaufen), Ohrensausen usw. von Erfolg, bei hysterischen Affektion, nervöser Schlaflosigkeit usw. auch das „elektrische Luftbad“, welches darin besteht, dass der Patient auf einem Isolierschemel oder -Teppich befindlich mit dem positiven Konduktor verbunden wird; der negative ist „geerdet“ und die beiden Kugeln soweit voneinander entfernt, dass keine Funken überspringen können. Es strömt dann die elektrostatische Ladung des Patienten allmählich in die Luft aus, hauptsächlich durch dessen Kopf- und Körperhaare; dass das eigentümliche Gefühl des von ihm selber ausgehenden Windes hier von besonders suggestiver Wirkung ist, wird sicher nicht geleugnet werden können; im übrigen soll auf den Streit, wieviel bei den Erfolgen der Franklinisation reine Suggestion, wie viel eventuelle Wärmewirkung usw., hier nicht eingegangen werden. Erregende Wirkungen auch auf faradisch unerregbare Muskeln sollen dagegen die Funkenentladungen der Elektrophormaschinen haben, welche auch in der Weise benutzt werden, dass der Patient vermittelt passender Elektroden zwischen die äusseren („hinteren“) Belege der beiden Leydener Flaschen geschaltet wird, während zwischen den Konduktorkugeln die Funken überspringen: sog. Mortonsche Ströme, die bei Bleilähmungen, Blasen Schwäche usw. Erfolge haben sollen und uns überleiten zur letzten direkten therapeutischen Anwendungsform bewegter Elektrizität, den hochgespannten und hochfrequenten Wechselströmen oder Schwingungen, nach Tesla d'Arsonval.

102. Arsonvalisation.

Die zur Herstellung der „Hochfrequenzströme“ benötigten Apparate und deren Schaltungsweisen sind in den wesentlichen Zügen bereits am Schlusse des ersten Abschnittes besprochen worden; der hauptsächlichste und kostspieligste Bestandteil ist der Funkeninduktor; immerhin wird ein solcher von Ärzten und insbesondere in klinischen Instituten und Sanatorien heutzutage viel verwendet zur Erzeugung von Röntgenstrahlen (s. den letzten Abschnitt), so dass hier überall die Vervollständigung der Einrichtung zur „Arsonvalisation“ relativ einfach und ohne grosse Ausgaben zu bewerkstelligen ist. Wo bereits sehr hoch gespannter Wechselstrom einer entsprechenden Zentrale zur Verfügung steht, da dürfte nur noch Anschluss an die Kondensatoren und

den eigentlichen Tesla-Transformator resp. Oudin-Resonator nötig sein (zur Funkenstrecke muss zwecks „Löschung“ des sonst auftretenden Lichtbogens noch eine dritte grosse Leydener Flasche parallel geschaltet werden). Beim Hauswechselstrom ist aber meistens, auch wenn er ursprünglich etwa zwecks Fernleitung hochgespannt war, durch Transformation die Spannung sehr mässig (gesetzliche Vorschriften!); es bleibt also nichts übrig, als ihn heraufzutransformieren, sei es durch den gewöhnlichen Ruhmkorff, sei es — zweckmässiger — durch einen sog. Hochspannungstransformator mit in sich geschlossenem Eisenring: siehe später bei der Besprechung der Röntgenstrahlen.

Von der sekundären Spirale des eigentlichen Hochfrequenztransformators (Teslas, d'Arsonvals, Elster und Geitels Konstruktion)

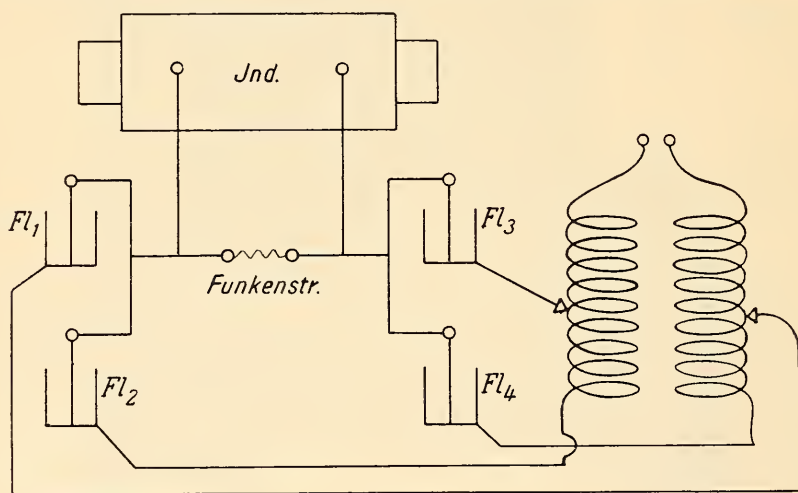


Fig. 100.
Schema des Doppelresonators.

kann nun bipolar und unipolar zum Patienten abgeleitet werden, während dieser selbst und das andere Ende der Spirale geerdet ist. Die Wirkung kann reguliert werden durch einen Schieber, welcher den wirksamen Anteil des primären dickdrätigen Solenoïds des Hochfrequenztransformators verkürzt oder verlängert: in anderer Weise geschieht dasselbe beim Oudinschen Resonator, von welchem, wie wir gesehen haben, unipolar abgeleitet wird: indessen ist neuerdings an dessen Stelle ein „Doppelresonator“ (doppelpoliger Oudin-Resonator) empfohlen worden, der die bipolare Ableitung ermöglicht und dessen Schaltungsweise mit Induktor und Kondensatoren Fig. 100 zeigt, während Fig. 101 den einfachen Resonator mit Regulierung durch vermittelt Kurbel drehbare Trommel zeigt, auf einem Tische stehend, dessen Unterteil die Kondensatoren samt der in einem roten Glaszylinder aufgenommenen Funkenstrecke aufnimmt.

Die Behandlung kann in der Weise erfolgen, dass die Büschelentladungen aus der Hochfrequenzspule vermittelt einer Art Pinsel-
elektrode auf den Patienten dirigiert werden; oder man macht diesen zu dem einen Beleg eines „Hochfrequenzkondensators“, indem man eine mit einem Dielektrikum überzogene, mit dem einen Ende des Resonators in Verbindung stehende Metallelektrode auf die Haut setzt: auch legt man den Patienten auf ein Polster, dessen Unterseite mit einer grossen Metallplatte versehen ist, die mit einem Pol, der Patient mit dem anderen

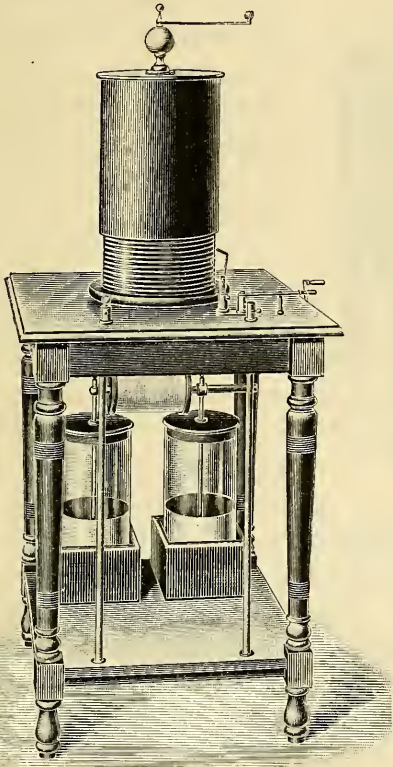


Fig. 101.

(Reiniger, Gebbert & Schall, Erlangen.)

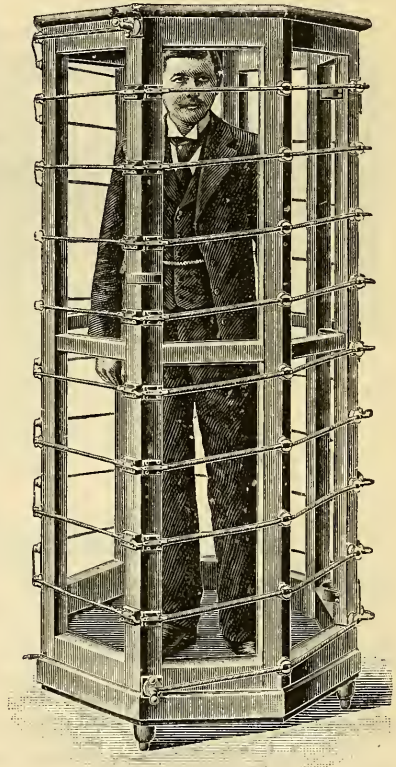


Fig. 102.

Pol der Sekundärspirale des Hochfrequenztransformators in Verbindung steht; sog. „Kondensatorbett“. Endlich verwendet man die schon früher beschriebene „Autokonduktionsmethode“, indem man den Patienten in das Innere eines aus wenigen weiten Windungen bestehenden, mit dem Hochfrequenztransformator verbundenen Solenoids bringt: dieses kann senkrecht aufgestellt und um den Patienten hinein- und herauszulassen an einem aufklappbaren Holzrahmen montiert sein (Fig. 102), oder es kann horizontal angeordnet den Patienten umhüllen, der auf einem Polster liegt, das nebenher für die Zwecke des „Kondensatorbettes“ (s. oben) eingerichtet sein kann (Fig. 103).

An so behandelten Menschen und Versuchstieren wollen d'Arsonval und seine Mitarbeiter¹⁾ vor allem beträchtliche Stoffwechselsteigerungen konstatiert haben, es wurde von kolossalen vasomotorischen, sowie auch das cerebrospinale System betreffenden Wirkungen berichtet, so dass insbesondere französische Ärzte die „haute fréquence“ mit angeblichen Wundererfolgen gegen alle möglichen Krankheiten, von der Lungenschwindsucht bis zum Tripper (Doumer)²⁾ verwendeten, ganz speziell natürlich gegen alle Neurosen (Bergonié³⁾ u. a.), gegen Hämorrhoiden,

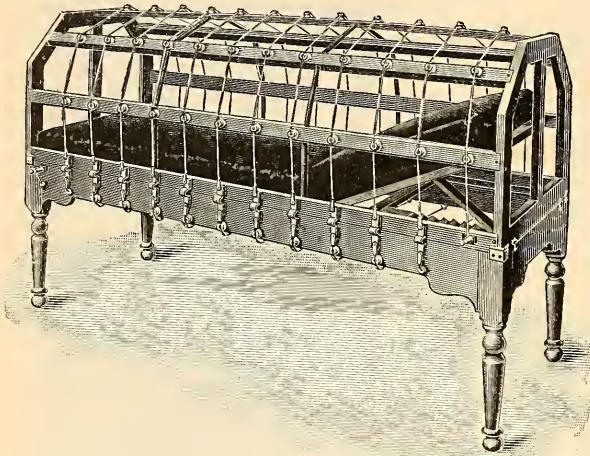


Fig. 103.

Gicht, Rheumatismus (Apostoli)⁴⁾ usw. Von deutschen Autoren haben sich nur wenige mit dieser Methode beschäftigt, so Eulenburg⁵⁾ und Benedikt; und ihr Urteil lautet recht skeptisch; auch französische und belgische Elektrophysiologen (G. Weiss, L. Querton) lassen angesichts der von ihnen konstatierten geringfügigen Wirksamkeit der Hochfrequenzströme neuerdings ähnliche Stimmen laut werden. Wir dürfen alle

jene angeblichen grossartigen Stoffwechselwirkungen und Wunderkuren teils auf Fehlerquellen — „post hoc, ergo propter hoc“ — teils auf Suggestion zurückführen, welche bei einem, rein physikalisch-technisch genommen, so grossartigen, wunderbar glänzende Wirkungen (Lichteffekte) gebenden Instrumentarium sehr beträchtlich wird sein können. Gefühlt werden die Hochfrequenzströme ja so gut wie gar nicht, und ihre motorischen Reizwirkungen sind minimal und auf die mangelhafte Dämpfung der Schwingungen in erster Linie, auf einfache Influenz, wie bei einem grossen Teil der sog. „Elektrokinesis“ (Fernwirkung) weiterhin zurückzuführen: bis auf Null reduziert werden dürften die physiologischen Effekte bei den in neuester Zeit auftretenden Bestrebungen, möglichst ungedämpfte Hochfrequenzströme oder richtiger: Schwingungen

1) Archives de Physiologie, 1893, S. 401; Comptes rend. de l'Acad. des Sciences, Bd. 123, S. 1, 23; Comptes rend. de la Société de biologie an vielen Stellen u. a. m.

2) Archives d'Électricité médicales und Annales d'électrobiologie, 1900.

3) Revue internationale d'électrothérapie, 1898, S. 46.

4) Comptes rendus de l'Acad. des sciences, 1895; S. 644.

5) Deutsche med. Wochenschr., 1900, S. 197; Ztschr. f. Elektrotherapie, 1901, S. 161.

zu erhalten, z. B. durch Verwendung der singenden Bogenlampe (Simon) gewissermassen als „Unterbrecher“ im primären Induktorkreise: siehe später bei der Elektrotechnik der Röntgenstrahlen.

Es erscheint mir überflüssig, hier noch auf weitere, im wesentlichen auf dasselbe hinauslaufende Behandlungsmethoden, wie z. B. diejenige nach Jodko-Narkiewicz, näher einzugehen; eine ausführliche Zusammenstellung und Kritik aller mit Induktorium oder Influenzmaschine möglichen Schaltungen lieferte der zweite „Report of the Committee on Current Classification“, erstattet vor der Amerikan. Ges. für Elektrotherapie am 24. September 1903.

103. Chirurgische Elektrolyse.

Gewissermassen die therapeutische Ausnutzung pathologischer Stromeffekte stellt dar die Anwendung der sekundären elektrolytischen Produkte, resp. ihrer im vorigen Abschnitt besprochenen



Fig. 104.



a



b

Fig. 105.

Ätzwirkungen zur Zerstörung krankhafter Gewebe, kurz als „Elektrolyse“ (nämlich von Geweben) bezeichnet. Solche Benutzung der schon von Remak weniger richtig als „kalalytisch“ bezeichneten Wirkungen ist seit Stewart u. a. Gemeingut insbesondere der Dermatologen (Hautärzte), Laryngo- und Rhinologen (Hals- und Nasenspezialisten) geworden. Die ersteren zerstören damit Haare an Stellen, wo man sie nicht haben will („Epilation“), Muttermäler (Naevi), kleine Gefässgeschwülste (Angiome, Teleangiektasien) usw. —, die letzteren benutzen sie zu Operationen an den Rachenmandeln, zur Verkleinerung und schliesslichen Beseitigung von Nasenpolypen usw. Aber auch Gynäkologen aus aller Herren Länder haben Myome und Fibrome der Gebärmutter durch elektrolytische Behandlung, die freilich Geduld und zahlreiche Sitzungen erfordert, beseitigt — bis zu faust- und kindskopfgrossen Geschwülsten —; zur Beseitigung von Strikturen (narbigen

Verengerungen) der Speiseröhre (Ösophagus), der männlichen Harnröhre usw. ist die Elektrolyse mit Vorteil benutzt worden, endlich auch zur Behandlung von Gelenkergüssen und ihren Folgen, Ohrenleiden u. a. m.: es existiert eine äusserst reichhaltige Spezialliteratur darüber.

Die Elektrolyse erfordert im allgemeinen metallische Elektroden, welche (abgesehen von der Kupferbehandlung der Ozäna) aus Stahl oder besser Platin-Iridium (unangreifbar) in Gestalt von Nadeln gebildet werden, die in die zu zerstörenden Gewebe eingestochen werden: entweder nur eine Elektrode, wobei die andere indifferente recht grosse Fläche besitzen muss, um bei starken Strömen Verätzung und Schmerzhaftigkeit zu vermeiden, oder beide, die für kleine Objekte auch nebeneinander an demselben Griffe angebracht sein können: eine solche,

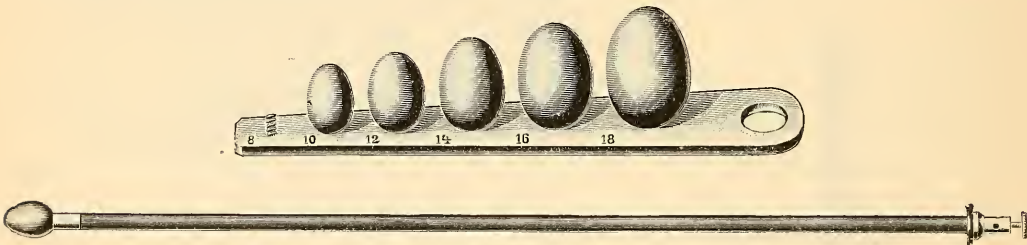


Fig. 106.

in einen besonderen Griff b einzuschraubende „Doppelpunktornadel“ zeigt Fig. 105a, während 104 eine einfache Nadel mit Klemme und federndem Kontakt zeigt. Natürlich werden für besondere Zwecke auch besondere Elektrodenformen: so bei der Elektrolyse der Strikturen mit auswechselbaren Metall-„Olivens“ verschiedener Grösse (Fig. 106) in Betracht kommen.

Die Stromquelle kann relativ schwach sein für Operationen, für welche geringe Stromstärken genügen, z. B. 1—1,5 Milliampère zur Epilation — Tauchbatterien von einigen Elementen, eventuell Akkumulatoren, wie wir sie auch zur Galvanokaustik, für kleine Glühlampen usw. empfehlen werden. Für die Entfernung grosser gynäkologischer Tumoren sind grössere Batterien, oder ist Anschluss an die Starkstromquelle zu empfehlen. Natürlich muss man Gleichstrom haben, also eventuell durch Transformation, und zwar mit relativ niedriger Spannung und gehöriger Quantität.

Diese Notwendigkeit des Gleichstromes gilt auch für eine weitere therapeutische Verwendung des Stromes, welche eine mehr indirekte ist, insofern es dabei nicht auf eine Wirkung der Elektrizität als solcher ankommt, sondern diejenige von chemischen Heilmitteln, welche durch den elektrischen Strom in das Innere des Körpers eingeführt werden sollen.

104. Einführung von Medikamenten durch den Strom.

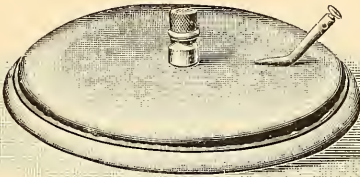
Die Praktiker bezeichnen diese „Einführung von Medikamenten durch den Strom in die Gewebe“ meist einfach als „Kataphorese“, obwohl in neuerer Zeit sehr darüber gestritten werden könnte, wie weit die im ersten Abschnitt besprochenen rein mechanischen Fortführungswirkungen — die eigentlichen „kataphorischen Wirkungen“ und wie weit die im dritten Abschnitt erörterten elektrolytischen Wirkungen, also die Ionenwanderung (Ein- und Auswanderung) in Betracht kommen. P. Meissner¹⁾ nimmt nur auf die ersteren Rücksicht; in diesem Sinne wäre, da die gelösten Stoffe mit dem Wasser im Sinne des positiven Stromes fortgeführt werden, stets nur die Anode die „aktive“ Elektrode, von welcher aus ein gelöstes Medikament in den Körper dringen kann. Dies scheint sich zunächst als richtig zu erweisen, denn wenn man in einem Tierversuch z. B. an die geschorene Körperhaut eines Kaninchens oder Meerschweinchens einen mit Strychninnitratlösung getränkten Wattebausch und gegen diesen die eine Elektrode, auf eine andere Körperstelle die andere drückt, so bekommt das Tier Strychninkrämpfe (und stirbt event.) nur dann, wenn die Strychninelektrode Anode, nicht aber, wenn sie Kathode ist: man kann auch den Strychninbausch zwischen zwei Tiere legen und die beiden Elektroden an die abgekehrten Körperseiten: nur dasjenige Tier wird vergiftet, in welches der Strom vom Strychninbausche herkommend eintritt: St. Leduc²⁾, von welchem diese Form des Versuches herrührt, zeigt indessen, dass alles sich gerade umgekehrt verhält, wenn man den Bausch mit Cyankaliumlösung tränkt: Vergiftung tritt nur ein, wenn derselbe die — direkte oder virtuelle — Kathode bildet und Leduc erklärt beides und damit die gesamte Einführung von chemischen Körpern in die Gewebe durch den Strom einfach als Ionenwanderung: in dem besprochenen Fall ist die Base, das Strychnin, Kation, die Säure, resp. das Säureradikal Cyan, Anion: Das Kation geht von der Anode weg, das Anion von der Kathode weg in den Körper.

Wie schon früher angedeutet, konkurrieren in praxi wohl beide Faktoren (Oker-Blom u. a.), indem die grossen Moleküle der häufig angewendeten Alkaloide, des Guajakols u. a. mehr als Nichtleiter mit dem Wasser mechanisch fortgeführt, bei Salzen aber z. B. Jodkalium die Bestandteile als Ionen wandern: in der Tat lässt sich hier nach kurzer Zeit an der Anode freies Jod nachweisen, welches durch die Gewebe von der Kathode bis hierher durchgewandert ist, während in dieser überall

¹⁾ Archiv f. Anatomie und Physiologie, physiolog. Abteilung, 1899, S. 11.

²⁾ Annales d'électrobiologie, 1900, Sept. und Okt.; Annales scientifiques 1900; Ztschr. f. Elektrotherapie, 1904 und „Die Ionen- oder elektrolytische Therapie“, a. a. O.

gleichviel Jod- und Alkalimetallionen vorhanden, also kein freies Jod nachweisbar und an der Kathode die Alkalimetalle resp. durch sekundäre Reaktionen Hydroxylionen frei vorhanden sind, also alkalische Reaktion nachweisbar ist: noch zwei weitere Erfahrungen sprechen in diesem Sinne: Bei schlechtleitenden Medikamentlösungen ist Ansäuerung für die „kataphorische“ (nach Leduc „elektrolytische“) Einführung von Vorteil und es sinkt im allgemeinen bei dieser Massnahme die Stromstärke und damit das Einführungsquantum schnell binnen wenigen Minuten auf ein Minimum — „Widerstandserhöhung“ des Körpers — was auf die Wasserverarmung an der Anode („Schrumpfung“, siehe Figur 54 auf S. 62) zurückgeführt wird: Durch Stromwendung lässt sich die Leitfähigkeit wieder auf den Anfangswert zurückbringen und so fort: es wird empfohlen, nebeneinander zwei gleichartige Elektroden aufzusetzen, — welche vielfach aus Glasgefäss mit Kohlepol, auch Metallgefäss zur Aufnahme der Lösung, sowie „Diaphragma“



a

Fig. 107.



b

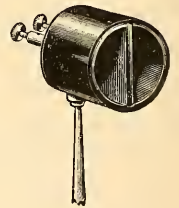


Fig. 108.

aus porösem Ton, Kohle, Blase zusammengesetzt werden, Fig. 107 a und b — und alle paar (5) Minuten den Strom zu wenden: P. Meissner lässt letzteres automatisch durch einen Stromwender mit Uhrwerk besorgen und verwendet eine zweizellige Elektrodenkombination aus Hartgummi, Fig. 108; am Boden der Gefässe liegen Metallplatten, die Ausfüllung geschieht einfach mit Watte oder Schwämmen, welche mit der Lösung getränkt werden.

Als Stromquelle dienen stationäre, event. Tauchbatterien oder Gleichstromanschluss event. Transformation.

Eingeführt hat man auf diese Weise Jodkali zu Resorptionszwecken, Kokain mit und ohne Guajakol in der Zahnheilkunde, Chinin, Arsen, Morphin, Aconitin u. a. m.

105. Elektromagnetische Therapie.

Eine technisch anscheinend nicht direkte, sondern indirekte Verwendung der bewegten Elektrizität zu Heilzwecken ist die sog. elektromagnetische Therapie, bei welcher indessen, wenn überhaupt von einer physiologischen Wirkung in geringem Masse sollte geredet werden

können, es sich um ganz ähnliche Dinge handeln wird, wie bei gedämpften Hochfrequenzströmen, Elektrokinesis usw.

Es handelt sich um Einbringung des leidenden Körperteils in ein sehr rasch und frequent die Richtung wechselndes magnetisches Feld: dasselbe kann hergestellt werden entweder durch Rotation eines starken Elektromagneten in der Nähe des Patienten, welche durch einen Motor bewirkt wird (System Trüb) oder durch Hindurchsenden eines frequenten Wechselstroms durch einen feststehenden, resp. verstellbar aufgehängten grossen Elektromagneten [System Eugen Konrad (Müller)]. Die ver-

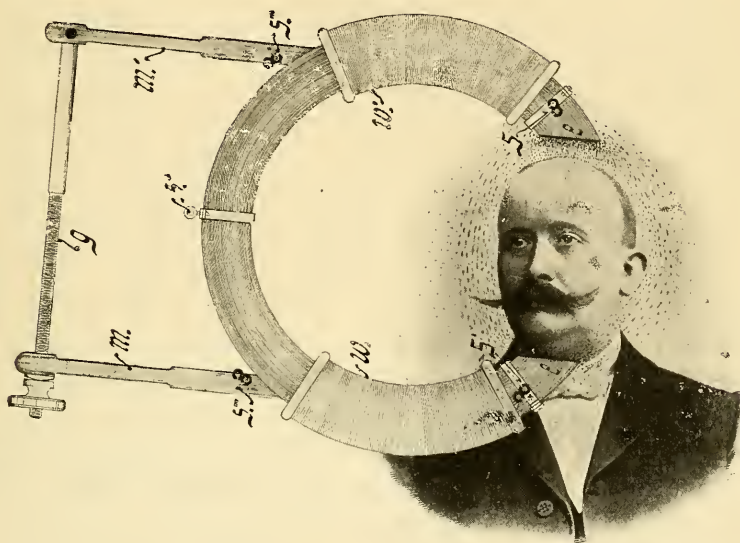


Fig. 109.
(Gebr. Ruhstrat, Göttingen.)

schiedenen Firmen haben verschiedene gesetzlich geschützte, teilweise mit der nötigen Reklame unter Heruntermachung der Konkurrenz empfohlene Konstruktionen: wir bilden hier die am wenigsten aufdringlich gepriesene und im Detail zweckmässigst ausgeführte Anordnung der Elektrizitätsgesellschaft Gebr. Ruhstrat in Göttingen ab (Fig. 109).

Die einzige nachgewiesene physiologische Wirkung ist eine subjektive Lichterscheinung — Aufflackern des Gesichtsfeldes — bei Annäherung des Wechselfeld-Magnetpols an die Schläfengegend, welche im hellen Lichte sogar besonders auffällig, aber immerhin nicht bei allen Menschen auftreten soll.

An eine physiologische Wirkung des Magnetismus als solchen ist trotz aller Bemühungen und Diskussionen seit Mesmer, Reichenbachs „Od“-Lehre bis auf die neuesten merkwürdigen Beobachtungen E. Harnacks nicht zu denken; sie ist ein Schwindelprodukt kurpfuschender „Magnetiseure“, welche übrigens höchstens mit

dem Hypnotismus — tierischen Magnetismus Mesmers — arbeiten und Unheil anrichten.

Die angebliche Erzeugung von Wirbelströmen — Foucault — wie in Kupferplatten usw. in dem mit Millionen „semipermeabler Membranen“ durchsetzten menschlichen Körper erscheint mir, auch wenn die angeblichen Wirkungen in elektrolytgefüllten Spiralschläuchen richtig sind, kaum denkbar.

Empfohlen hat man die elektromagnetische Therapie bei Gicht, Rheumatismen, Neuralgien, nervöser Schlaflosigkeit, Migräne usw.

106. Faradisierung der Phrenici. Elektropunktur des Herzens. Elektronarkose.

Während es sich bisher um Heilmethoden gehandelt hat, welche mit mehr oder weniger Recht mehr oder weniger dauernd ihren Platz in der wissenschaftlichen Heilkunde behauptet haben, sind schliesslich noch drei direkte Anwendungen der Elektrizität in der Medizin der Vollständigkeit halber zu erwähnen, von denen die erste, weil viel einfacheren Methoden nachstehend, keinen Anspruch auf erfolgreiche Anwendung machen kann, während die beiden anderen ihrer offenbaren Gefährlichkeit wegen kaum je ausgedehntere Anwendung am Menschen finden dürften.

Die erste ist die von v. Ziemssen (1. Aufl. der „Elektrizität i. d. Med.“, 1857) empfohlene und bei asphyktischem Atemstillstand, insbesondere durch Kohlenoxyd- (Leuchtgas-, Kohlendunst-), Chloroformvergiftung u. a. angewendete rhythmische Faradisierung der beiden N. phrenici resp. plexus cervicales an den aus dem Schema ersichtlichen Stellen am Halse: es ist ja nicht zu bezweifeln, dass in einzelnen Fällen dieser, für sich allein und ausschliesslich angewendeten Methode der künstlichen Atmung die Lebensrettung zu danken ist; indessen wird man meist vorher und nebenher doch die anderen, wohlbekannteren mechanischen Methoden der künstlichen Atembewegungen ausüben; dieselben sind einfacher als die Phrenikusfaradisation, von jedermann, der darauf eingeübt, und ohne jeden Apparat auszuführen, und ob in verzweifelten Fällen, wo man sie noch durch die Phrenikusfaradisation unterstützt, etwaiger Erfolg nicht auch ohne diese zustände gekommen wäre, muss doch bezweifelt werden.

Es sollen zwei ziemlich grosse Knopfelektroden je eine auf jeder Seite auf die betr. Punkte gedrückt und die recht kräftige Faradisation immer 2 Sekunden lang mit ungefähr ebenso grossen Pausen abwechselnd gemacht werden; in diesen Pausen soll ein Gehilfe die Bauchwand und den Bauchinhalt nach oben durch das Zwerchfell drücken, also — durch eine mechanisch-künstliche Atmung — nachgeahmte rhythmisch-aktive Expiration!

Die zweite Methode ist zu dieser ersten gewissermassen ein Pendant, indem sie eingreifen soll, wenn z. B. durch Chloroform primärer Herzstillstand eingetreten ist: man soll da eine dünne Nadel durch den Interkostalraum in den Herzmuskel einstechen, während eine indifferente Elek-

trode im Epigastrium (Oberbauchgegend) aufgesetzt wird und das Herz faradisieren — „Elektropunktur des Herzens“ nach Steiner¹⁾. Es kann kein Zweifel sein, dass das bei kleinen Tieren vollkommen gelingt; auch das durch Starkstrom mittlerer Spannung flimmernde Herz (S. 110) würde ja nach den Erfahrungen von Prévost auf solche Weise beim Hunde wieder in Gang gesetzt werden können: bei grossen Tieren ist indessen, wie der Verfasser dieses Buches aus klassischen Beispielen und eigenen Erfahrungen weiss, die „Herznadel“ ein gefährliches Ding, und so dürfte diese Methode am Menschen wohl kaum ernstlich versucht worden sein oder je versucht werden.

Ihr Schicksal in dieser Hinsicht teilt die sog. elektrische Narkose nach Leduc²⁾. Dieser Forscher fand, dass man durch rhythmisch unterbrochenen Gleichstrom niederer Spannung beim Tier die Gehirntätigkeit völlig ausschalten, einen schlafartigen Zustand herstellen kann, in welchem Empfindung und willkürliche Bewegung aufgehoben sind. Die Bedingungen hierzu scheinen indessen äusserst beschränkt zu sein: die Unterbrechungsfrequenz, welche durch einen elektromagnetischen Stahlbandunterbrecher mit variabler Spannung des Bandes geregelt werden kann, muss zwischen 100 und 150 in der Sekunde liegen; ist sie höher, so tritt Tetanus der Körpermuskeln ein; dabei muss die Spannung (rund 5 Volt) ausser durch Rheostaten und Anschlussvorrichtungen zur eventl. Starkstromquelle durch einen in Nebenschliessung eingeschalteten Flüssigkeitsrheostat genau regulierbar sein: dieser muss (durch sehr feinen Zahntrieb) ganz allmähliche Verstellung, also völliges „Einschleichen“ ermöglichen; jeder Ruck macht Zuckung oder epileptiforme Krämpfe: zu hohe Steigerung des Stromes bringt die Atmung zum Stillstand, der sich bald auch das Herz anschliesst: solche Gefährlichkeit musste von vornherein nicht sehr zu Versuchen an Menschen einladen: Leduc, welcher solche an sich selbst vornehmen liess, kam nicht bis zu völliger Bewusstlosigkeit, wenn auch völliger Unfähigkeit zu willkürlichen Bewegungen, und die Beschreibung, welche er von seinen Erfahrungen gibt, ist trotz aller optimistischen Färbung zu weiteren praktischen Versuchen nicht im mindesten einladend. Es handelt sich eben um eine äusserst enge Begrenzung der Dimension und des zeitlichen Verlaufs von Strömen, welche nur Hemmung ohne Reizung, und ausserdem nicht tödliche Hemmung machen können!

1) Archiv f. klinische Chirurgie, Bd. 12, S. 741; 1871.

2) Zeitschrift für Elektrotherapie, 1902, S. 316 u. 371; 1903, S. 23, 374 u. 403; 1904, S. 282: Hier Beschreibung der Apparate nach der Konstruktion von Reiniger, Gebbert & Schall.

Neunter Abschnitt.

Die Elektrizität als Hilfskraft in der Medizin.

107. Allgemeines. Elektromotoren.

Wie zahlreichen Bedürfnissen des täglichen Lebens, wie fast der gesamten modernen Technik, so dient die Elektrizität auch der praktischen Heilkunde, wie den ihr zugrunde liegenden wissenschaftlichen Forschungen durch Anwendungen, welche an sich mit den direkten Wirkungen der Elektrizität auf den lebenden Organismus nichts zu tun haben; sie dient als Hilfskraft in zahlreichen Fällen, teilweise auch solchen, in denen sie früher durch andere Kraftquellen vertreten wurde und auch heute noch wird, wo sie nicht zu Gebote steht oder sich als zu kostspielig erweist. Für andere Zwecke wieder, wie die Herstellung intensiver Lichtquellen zu Bestrahlungszwecken, sowie der so wichtig gewordenen Röntgenstrahlen ist sie durch nichts zu ersetzen.

Indem wir deren Besprechung bis zuletzt verschieben, können wir die übrigen Verwendungen der Elektrizität einteilen in solche zur Erzeugung von mechanischer Bewegung, von Wärme und von Licht.

Die erstgenannte Aufgabe fällt den Elektromotoren zu, deren Prinzipien, deren Einteilung in Gleichstrom-, Wechselstrom-Synchron-, Asynchron- resp. Drehstrommotoren bereits im ersten Abschnitt besprochen sind. Details und Grösse der Ausführung richten sich natürlich nach den Zwecken, zu welchen sie verwendet werden sollen, sowie nach den Konstanten der vorhandenen Stromquellen. Als solche ist Starkstromanschluss, wo vorhanden, allem anderen vorzuziehen: wo nicht, sind gewöhnliche (Primär-)Batterien sehr wenig geeignet; event. kommen sehr grosse und passend eingerichtete Chromsäurebatterien (Pile Radiguet,

Paris) dort in Frage, wo gar keine Gelegenheit vorhanden, Akkumulatoren laden zu lassen; diese letzteren sind eine sehr bequeme Stromquelle, nicht nur für Motoren, sondern auch für Kaustik, Beleuchtung, Elektrolyse, Röntgenapparate, vorausgesetzt, dass sie gut konstruiert, bequem zu laden sind und richtig behandelt werden.

Die Akkumulatoren sind bekanntlich (S. 16 u. 59) „sekundäre Elemente“ nach dem Prinzip des Voltameters resp. der Polarisation: nur kann man für praktische Zwecke natürlich gasbeladene Platinbleche nicht brauchen, sondern bedient sich der Bleiplatten (Planté, Faure), welche in verdünnter Schwefelsäure stehen. Dieselben werden ausserdem von vornherein mit einer Oxydschicht überzogen (statt dies erst durch den Strom machen zu lassen, „Formierung“). Lässt man einen Strom durchgehen, so wird das Bleioxyd an der anodischen Platte zu Superoxyd oxydiert, an der kathodischen Platte zu Blei reduziert. Dadurch, dass man den Platten eine sehr grosse Oberfläche, sowie Waben- oder Gitterform gibt, deren Maschen viel Bleioxyd aufnehmen können, ermöglicht man es, dass diese Umformung sehr grosse Massen (die ganze Plattendicke) betrifft, währenddessen eine Menge Elektrizität „aufgespeichert“ wird, die nach vollendeter „Ladung“ als „Polarisationsstrom“ in entgegengesetzter Richtung wieder abgenommen werden kann: wurde mit x Volt und y Ampère z Stunden lang geladen, so kann das Produkt der x_1 Volt und y_1 Ampère des Entladestromes mit der maximalen Dauer desselben z_1 also $x_1 \times y_1 \times z_1$ Wattstunden höchstens annähernd so gross sein wie $x \times y \times z$. Man nennt $y \times z$ die Kapazität des Akkumulators in Ampèrestunden, die natürlich abhängig sein wird von den Plattendimensionen, damit von der Grösse und Schwere der Zellen. Jede Zelle gibt anfänglich 2,1—2,2 Volt („Überspannung“), dann lange gleichmässig 2—1,8 Volt Spannung; sowie die Spannung dann schnell sinkt, ist die Kapazität verbraucht und darf Stromentnahme bis zur Erschöpfung nicht stattfinden; sonst braucht die Neuladung besonders viel Strom und Zeit, ebenso wie bei der allerersten Ladung. Auch wird hierdurch der Bestand der Platten, besonders der Anoden gefährdet, ebenso wie durch zu starke Stromstärke i , letzteres um so mehr, je kleinplattiger die Zellen. Kurzschluss ist den Akkumulatoren äusserst verderblich. Viel Wert muss auch auf gleichmässige Konzentration und Reinheit des Elektrolyten gelegt werden. Man unterscheidet „stationäre“ und „transportable“ Akkumulatorenbatterien; letzteres ist notwendig, wo die Stromquelle zum Laden von der Verbrauchsstelle entfernt ist, der Lebensdauer der Akkumulatoren aber im allgemeinen nicht günstig.

Die Gefässe der Akkumulatoren sind am besten aus Glas; Hartgummi bewährt sich auf die Dauer nicht: s. Fig. 110.

An transportablen Akkumulatorkästen für Kaustik, Beleuchtung usw. können zweckmässig Rheostate und Messapparate mit befestigt sein; sehr

nötig ist ein Voltmeter, um jederzeit die Spannung der Akkumulatoren und damit etwaiges Neuladungsbedürfnis kontrollieren zu können.

Elektromotoren dienen zunächst zum Betriebe von rotierenden Werkzeugen, für chirurgische Zwecke: die kleinen Bohrer und Fräser der Zahnärzte stehen hier in erster Linie: aber auch für grössere

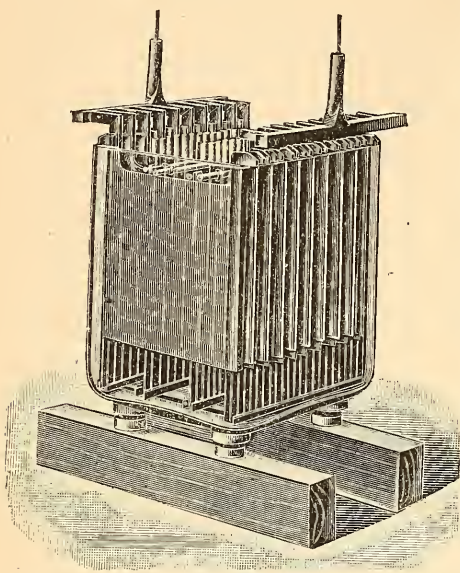


Fig. 110.

Stationäre Akkumulatorzelle.

Operationen, Schädelreparationen usw. können Trephinen, kleine Kreissägen, auch hin und hergehende kleine Sägen, Meissel u. a., letztere durch Vermittelung eines Exzenterstückes, betrieben werden. Damit man, während der Motor feststeht, das rotierende Instrument mit der Hand überall hinführen kann, geschieht die Übertragung natürlich stets durch eine „biegsame Welle“ („Bohrschlauch“, an der Motorachse befestigte Stahldrahtspirale innerhalb eines Schlauches).

In gleicher Weise, durch biegsame Welle und Exzenter (zweckmässig mit regulierbarer Exzentrizität) erfolgt die Bewegung der zur sog. Erschütterungsmassage (Vibrationsmassage) dienenden vielgestaltigen Instrumente,

welche als angebliches nerven- und muskelanregendes Mittel auch in Verbindung mit gewöhnlicher Massage heutzutage in ärztlich geleiteten Heilanstalten, wie von Unberufenen in grossem Massstabe angewendet wird¹⁾: es wird Rotier-, Roll-, Stoss- usw. Vibrations-Massage unterschieden. Bei Applikation auf kleine Bezirke hat man statt des Motors auch den Anker eines Elektromagneten verwendet, welcher vom Wechselstrom durchflossen wird und mit dem Instrument zu einem Handapparat vereinigt ist (letzteres auch für ganz kleine Motoren), oder man lässt durch den Motor eine kleine Kompressionsluftpumpe betreiben; der von dieser erzeugte Luftstrom betreibt dann mittelst Schlauchübertragung pneumatisch das Vibrationsinstrument: besonders für die von den Ohrenärzten (Breitung u. a.) so viel angewendete Vibration des Trommelfells, auch für analoge Massnahmen am Auge ist diese offenbar mildere, weil elastische Modifikation vorzuziehen; übrigens wendet sie Zabudowski neuerdings auf die Haut an: die Luftverdichtung und Verdünnung wirkt

¹⁾ Siehe K. Lange u. a. in Ziegelroths Archiv für physikalisch-diätetische Therapie.

hier in einem luftdicht aufgesetzten Trichter direkt ein, ohne mechanisches Zwischenstück.

Wo Elektromotoren als Transformatoren oder zur Erzeugung sinusöidalen Wechselstroms vorhanden sind, oder zum Betrieb von Influenzmaschinen, da können diese natürlich auch zur Vibrationsmassage benutzt werden, indem die biegsame Welle an die Motorachse angekuppelt wird.

Die Laboratorien der Kliniken, noch mehr natürlich theoretischer medizinischer und naturwissenschaftlicher Institute haben für Elektromotoren zahllose Verwendungsmöglichkeiten: Betrieb von Zentrifugen, Rühr- und Schüttelapparaten, Kymographien (Registrierzylindern für die graphische Methode), Apparaten zur künstlichen Atmung usw. usw.

108. Augenelektromagnete.

Eine motorische Anwendung der Elektrizität findet auch bei der Verwendung von Magneten zur Extraktion von Eisensplintern aus dem Auge seitens der Augenärzte statt, indem diese Magneten, und zwar nicht nur die grossen stationären, sondern auch die kleinen mit der Hand dem Auge zu nähernden jetzt meist als Elektromagneten konstruiert werden. Durch ihre Windungen wird Gleichstrom geschickt; näheres Eingehen erübrigt sich an dieser Stelle.

109. Galvanokaustik. Elektrische Heizung.

Die Joulesche Wärme des Stromes findet Verwendung zunächst für medizinisch-chirurgische Zwecke, um Platindrähte glühend zu machen, welche die Stelle des sonst angewendeten Glüheisens vertreten. Der Vorteil ist zunächst offenbar der, dass die Glut mit der Stromesdauer gleichmässig erhalten werden kann; vor dem das gleiche bietenden Paquelinschen Thermokauter die Möglichkeit mannigfacherer Gestaltung und feinerer Lokalisation, vor allem aber, und dies das allerwichtigste, dass die Glühwirkung erst im Momente der Operation eintritt, nachdem das Instrument im kalten Zustande in aller Ruhe in richtiger Weise angelegt ist: jede vorherige Beunruhigung des Patienten fällt weg, und bei momentanem Stromschluss fast schmerzlos können kleine und selbst grössere „Polypen“ — Fibrome, Angiome usw. im Gehörgang, Nase, Kehlkopf, chronisch-entzündliche, hypertrophische Tonsillen („Mandeln“) exstirpiert werden, desgleichen Hämorrhoiden, spitze Kondylome, kleinere gestielte Fibrome des Uterus u. v. a. Die dazu nötigen Instrumente bedürfen vor allem einer geeigneten nichtleitenden Handhabe, an deren hinterem Ende die Leitungsschnüre oder Kabel einmünden, die mit einem sicheren Kontakt (Unterbrechungsfeder) versehen sein müssen: noch verwickelter wird ihre Konstruktion, wenn das betreffende Objekt mit dem glühenden Draht durchschnitten werden soll: „galvanokaustische Schneideschlinge“: die beiden Schlingendrähte gehen durch zwei Rinnen resp. Röhren als Führungen und können durch Doppelgriff zurück-

gezogen werden, während ein dritter Finger den Kontakt wie einen Flintenabzug handhabt und ein vierter das hintere Ende festhält: Fig. 111a zeigt ein derartiges Instrument nach dem berühmten Laryngologen M. Schmidt-

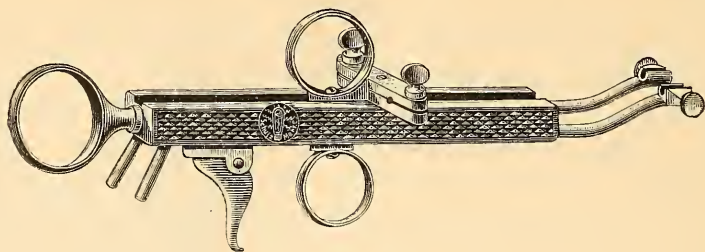


Fig. 111a.

Frankfurt. Fig. 111b und c zeigen einfachere Platinbrenner, d einen solchen mit Porzellanzylinder, um welchen der Platindraht in Spiralform herumgeht.

Die Stromquelle für Galvanokaustik benötigt nur geringe Spannung, aber bei genügender Quantität: also nimmt man stationäre oder transportable Chromsäure-Tauchbatterien von wenigen grossplattigen Elementen; Akkumulatoren — zwei bis vier Zellen nicht zu geringer Kapazität, s. oben — oder endlich Anschluss an Starkstromleitung. Dabei ist es gleichgültig, ob Gleich- oder Wechselstrom da ist; ja hiervon kann noch besonders ökonomischer Gebrauch gemacht werden dadurch, dass man durch einen Gleichstrom-Wechselstrommotortransformator für sinusoidalen Strom den zu hoch — 110 oder 220 Volt — gespannten Gleichstrom der Zentrale in

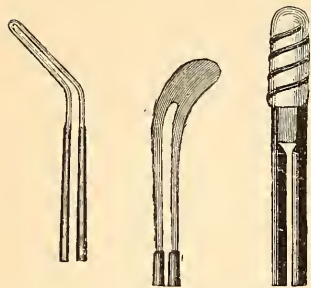


Fig. 111b. Fig. 111c. Fig. 111d.

Wechselstrom umwandelt und diesen dann in niedergespannten Wechselstrom transformiert, der mit weitaus grösserer Ersparnis zur Kaustik und auch endoskopischen Beleuchtung mit kleinen Glühlämpchen (s. unten) benutzt werden kann, als wenn man den ursprünglichen Gleichstrom durch die nötigen enormen Widerstände belastete.

Nach diesem Prinzip hat die Firma Gebr. Ruhstrat in Göttingen vortreffliche Anschlussapparate konstruiert: Fig. 112 zeigt einen solchen in sehr leicht verständlicher Weise: M ist der Motor, der auch für Vibrationsmassage (Vibrationskugel O) und chirurgische Verrichtungen — Säge S — benutzt wird, Tr der Transformator, K der Rheostat für Kaustik, E derjenige für Endoskopie (L die Lampe); Fig. 113 zeigt einen von derselben Firma gelieferten Universalanschlussapparat, welcher ausser all dem genannten noch die nötigen Einrichtungen für die Galvanisation und

Elektrolyse besitzt, zu welcher der hochgespannte Gleichstrom ja nötig ist; ausserdem wird hier der Motor zur sinusoidalen Faradisation mitbenutzt.

Die Joulesche Wärme des Stromes ist ferner ausgenutzt bei elektrisch geheizten Heissluftbädern, Wasserwärmern, Bett-

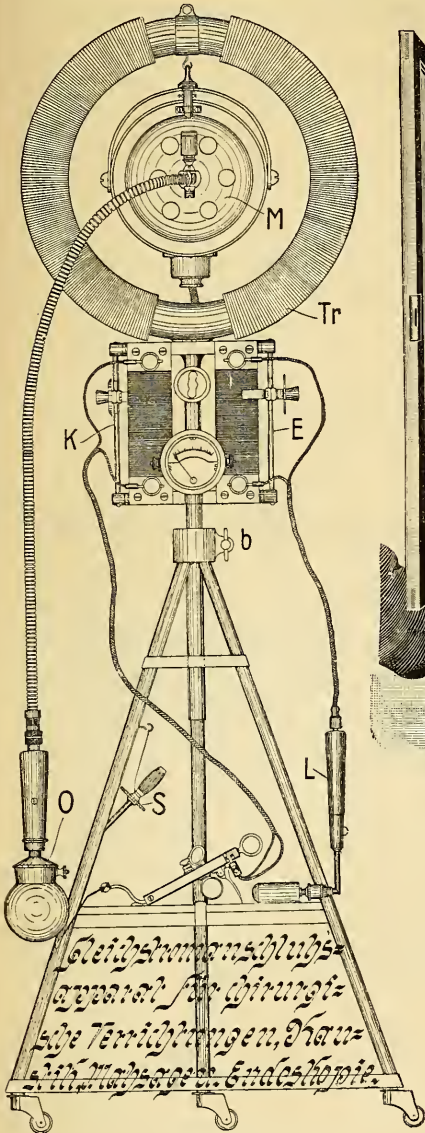


Fig. 112.
(Gebr. Ruhstrat, Göttingen.)

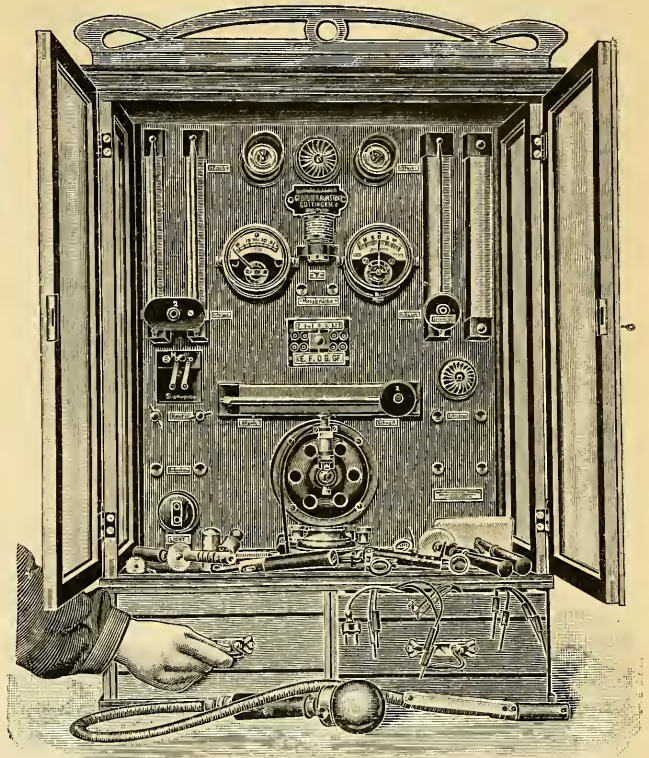


Fig. 113.
(Gebr. Ruhstrat, Göttingen.)

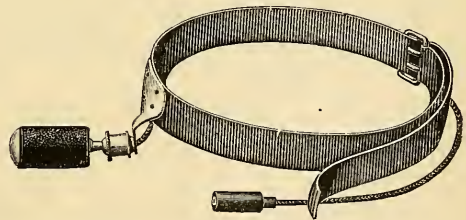


Fig. 114.

wärmern („elektrische Thermophore“), event. zur elektrischen Heizung von Krankenzimmern oder -Transportwagen, sowie bei den Glühlichtbädern, deren eigentlich wirksamer, schweisserregender Faktor durchaus nicht das Licht, sondern die strahlende Wärme ist.

110. Elektrische Beleuchtung. Erdoskopie.

Das elektrische Licht wird zu Beleuchtungszwecken am menschlichen Körper verwendet gewöhnlich in Gestalt des Glühlichts. Etwas grössere Glühlampen dienen, mit passendem Reflektor versehen, zum Hineinleuchten in Wunden, dunkle Ecken usw.; ganz grosse im Stativ

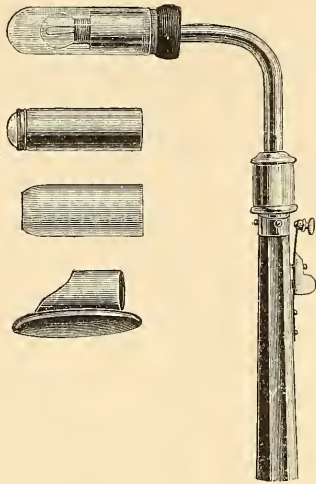


Fig. 115.



Fig. 116.

können zur Handhabung des Augenspiegels (Ophthalmoskopie) dienen; für das Ohr, den Kehlkopf, die Mund-, Rachen- und Nasenhöhlen bedient man sich entweder der an ein um den Kopf des Untersuchers geschlungenes Band befestigten Stirnlampe (Fig. 114), wobei man Kehlkopfspiegel,

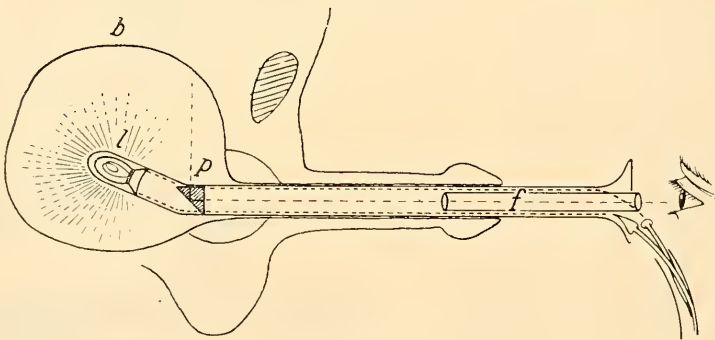


Fig. 117.

Schema des Zystoskops.

Ohrtrichter usw. in der üblichen Weise handhabt, worauf hier nicht der Ort ist, näher einzugehen, oder aber es ist an diesen Instrumenten selbst ein ganz kleines Glühlämpchen („Miniaturlämpchen“) angebracht, welches die betr. Höhle erleuchtet, so dass jede äussere Lichtquelle und der oft so unbequeme Reflektor, resp. die Stirnlampe überflüssig wird:

Fig. 115 zeigt eine solche Lampe, 116 einen Kehlkopfspiegel (Laryngoskop) mit Miniaturlämpchen. Auch Scheidenspekula („Mutterspiegel“) mit Glühlampe werden neuerdings in den Handel gebracht.

Ausschliesslich die ganz kleinen Miniaturlämpchen und zwar entweder mit Wasserkühlung zur Verhinderung der Hitzeschädigung, oder für Minimalspannung und mit doppelter Wand (Kaltlämpchen) eingerichtet dienen den Zwecken der Endoskopie im engeren Sinne, d. h. der Erleuchtung ganz im Körper eingeschlossener schwer zugänglicher Hohlorgane; vor allem sind die Harnröhre und Blase zu nennen: Urethroskopie und Zystoskopie, Methoden, welche bei uns vor allem durch Oberländer und Nitze zu hoher Vollkommenheit und grosser praktischer Bedeutung gelangt sind. Natürlich ist hier nicht der Ort näher darauf einzugehen; es sei nur kurz das Wesen der Zystoskopie erläutert.

Das Zystoskop ist ein im wesentlichen gerader Metallkatheter, in dessen etwas abgebogenem Ende die Glühlampe l (Fig. 117) eingesetzt ist, derart, dass sie die der Konkavseite der Biegung gegenüberliegenden Teile



Fig. 118.

der Blasenschleimhaut (Blase b) hell beleuchtet: in der Nähe des Knicks hat der Katheter eine kleine runde Öffnung, welche durch die eine Seitenfläche eines Prismas p verschlossen wird, dessen versilberte Schrägfläche das Bild der Blasenwand in die Richtung der Katheterachse reflektiert; es ist hier eine fernrohrartige Linsenkombination f eingeschaltet, welche an dem aus der Harnröhre heraussehenden Trichter die Betrachtung des zystoskopischen Bildes gestattet. Die Zuleitung des Stromes zu dem Lämpchen kann in verschiedenster Weise erfolgen; es kann gleichzeitig der Katheter noch eine doppelte Röhrenleitung zur Durchspülung der Blase, verschiebbare Sonden zur Einführung in die Ureteren (Harnleiter) unter Kontrolle des Auges haben; endlich kann das Zystoskop noch mit Einrichtung zum Photographieren des zystoskopischen Bildes versehen sein.

Figg. 118 und 119 zeigen ein einfaches Nitzesches Zystoskop und ein Schlagintweitsches Irrigationszystoskop mit sog. Wechselhahnspülung.

Wohl zu unterscheiden von der Endoskopie ist die Diaphanoskopie oder Durchleuchtung innerer Höhlen mit transparenten Wänden: es kann der Apparat (Glühlampe mit Beleuchtungslinse) aussen aufgedrückt werden — Durchleuchtung der Stirnhöhle, Oberkieferhöhle (Antrum Highmori) —, oder aber er kann auch z. B. in den Magen mit einer Schlundsonde eingeführt werden (Gastrodiaphanoskop von Einhorn u. a. m.). Hier sind fast stets Kühlvorrichtungen nötig.

Was die Stromquellen für die ärztliche Beleuchtungstechnik betrifft, so gilt, wie schon angedeutet, hier genau das gleiche wie für die Galvano-kaustik: die Kohlenfäden der kleinen Glühlampen müssen wegen des Raummangels, sowie zur Erzielung scharfer Beleuchtung recht kurz sein, können also nur geringe Spannungen vertragen: 8—12—20 Volt für

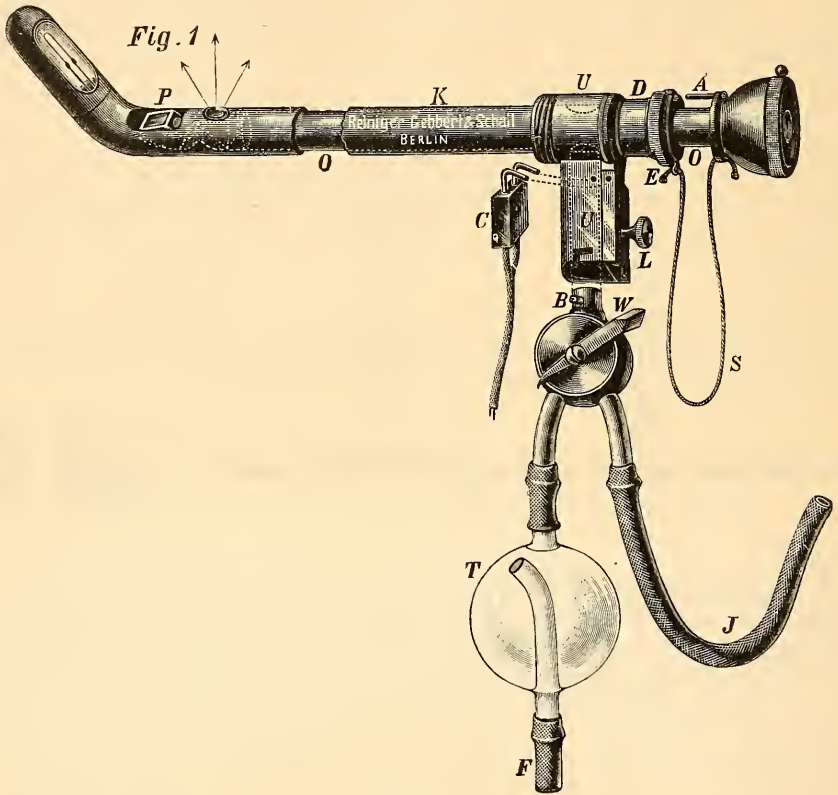


Fig. 119.

(Die Buchstaben sind hier ohne Interesse.)

Stirnlampen usw., 7—8 Volt für Zystoskope, 2—3 Volt für die Miniaturlämpchen der Laryngoskope usw.

Nur Stativlampen (s. o.) können direkt für Starkstrom-Netzspannung (110, 220 V.) eingerichtet sein. Mit diesen zu betriebe Glühlichtreflektoren, Nernstlampen, Bogenlampen für Beleuchtung von Operationssälen, klinischen oder anderen Hörsälen, die Projektions- und mikrophoto-graphischen Apparate mit elektrischer Beleuchtung, alles dies sind Dinge, deren Besprechung hier unterbleiben kann; die Kataloge der Fabrikanten geben demjenigen, welcher sich hierüber unterrichten will, meist schon reichliche Auskunft, ausserdem die vielen Spezialwerke über Beleuchtung, Projektion, Mikrophotographie usw.

III. Lichttherapie.

Wir haben nun aber noch die Benutzung der Heilwirkungen der Lichtstrahlen als solcher zu behandeln und dabei zwischen Glühlicht- und Bogenlichtapparaten prinzipiell zu unterscheiden:

Glühlichtbäder sind geschlossene Kästen, deren Wände innen mit Glühlampen besetzt, ausserdem mit Spiegeln oder sonst kräftig reflektierenden Flächen (poliertes Kupfer oder Nickel usw.) versehen sind,

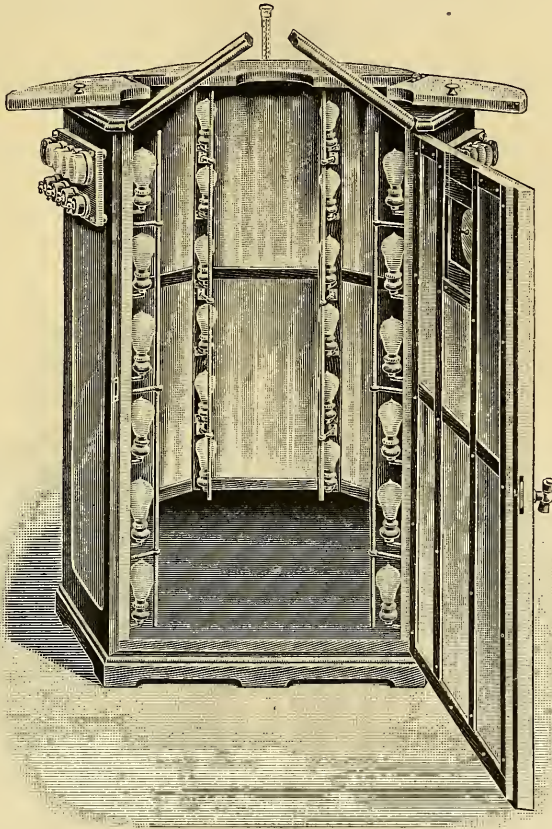


Fig. 120.

(Reiniger, Gebbert & Schall, Erlangen.)

um alle Strahlen auf den Körper des Patienten zu konzentrieren, welcher, mit Ausnahme des Kopfes, sich entblösst in das Kasteninnere begibt: „Voll-Glühlichtbad“, s. Fig. 120. Analog sind Teil-Glühlichtbäder eingerichtet, für einzelne Körperpartien.

Die Hauptwirkung der Glühlichtbäder muss den Wärmestrahlen zugeschrieben werden, wengleich z. B. Winternitz auch für eine solche der Lichtstrahlen eintritt. Ihre Domäne ist die gleiche wie diejenige der Schwitzbäder überhaupt: chronischer Rheumatis-

mus, Neuralgien, Ischias, Fettleibigkeit (angebliche Ungefährlichkeit für das Herz!); indessen sind sie auch bei manchen Augenleiden, selbst Formen der Tuberkulose empfohlen worden, hier auch kombiniert

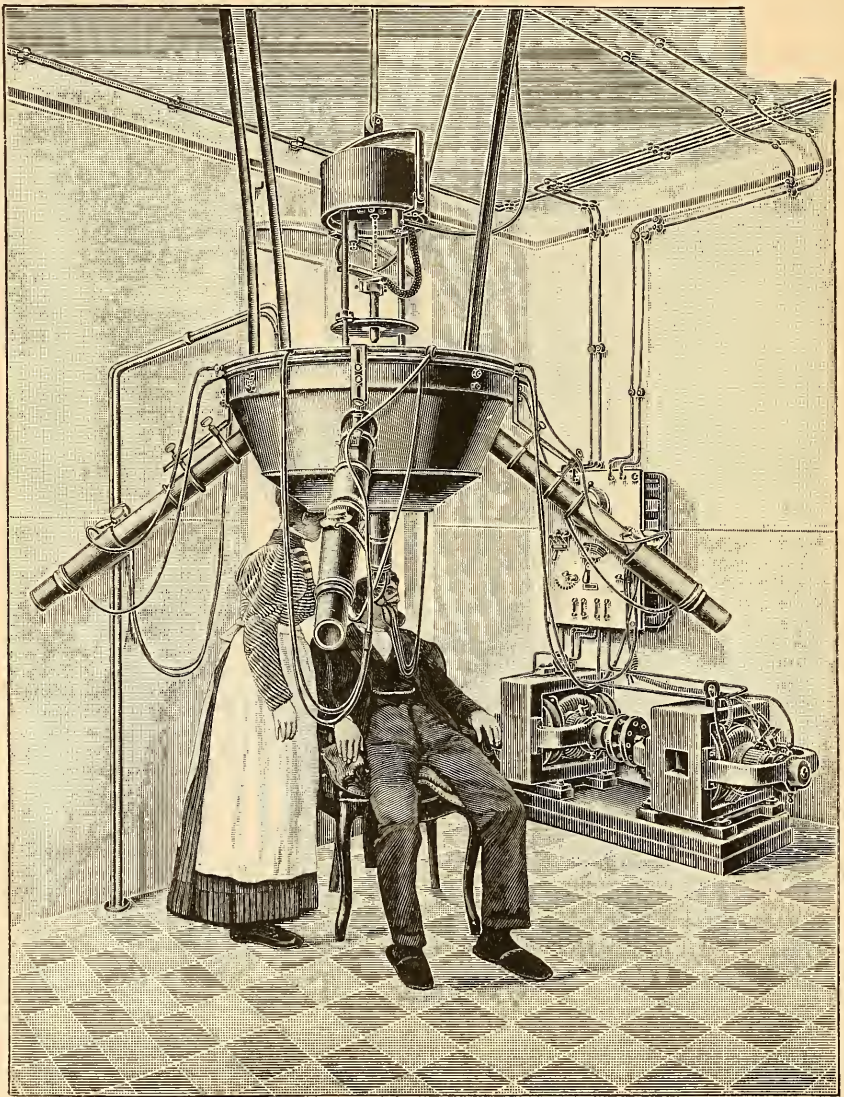


Fig. 121.

(Reiniger, Gebbert & Schall, Erlangen.)

mit Bogenlichtbestrahlung, welche einfach durch Bogenlampen mit Reflektoren besorgt wird.

Prinzipiell davon zu unterscheiden ist die Behandlung von Hautleiden, speziell Lupus (Hauttuberkulose) mit konzentrierten

chemisch wirksamen Lichtstrahlen nach dem Vorgange des verstorbenen Finsen: hierzu ist nötig erstens eine sehr starke Bogenlampe, welche zur gleichzeitigen Behandlung mehrerer Patienten mit radial angebrachten Kollektoren (Figur 121) einer Stromstärke von 80 bis 120 Ampère bedarf; die Bogenlampen für Einzelbehandlung (Finsen-Reyn, Fig. 122) kommen mit 20 bis 30 Ampère aus. Da eine Bogenlampe als solche etwa 38 Volt Spannung im Lichtbogen hat, mit Zuleitung und Regulier-(Beruhigungs-) Widerständen also mit 50 bis 70 Volt auskommt, so wird es sich bei so hohem Stromverbrauch stets lohnen, die zu hoch gespannten Netzströme zu transformieren, statt den Überschuss der Spannung (über 100% bei 110 Volt, 400% bei 220 Volt!!) durch entsprechende Stromverschwendung totzumachen. Die Figur 121 zeigt dementsprechend auch den Transformator, der für den in Rede stehenden Zweck Gleichstrom liefern muss, da ja der „Krater“ der positiven Kohle die Hauptlichtmenge aussendet, die noch durch Schrägstellung (45°) der Kondensationsvorrichtung besonders ökonomisch ausgenutzt wird.

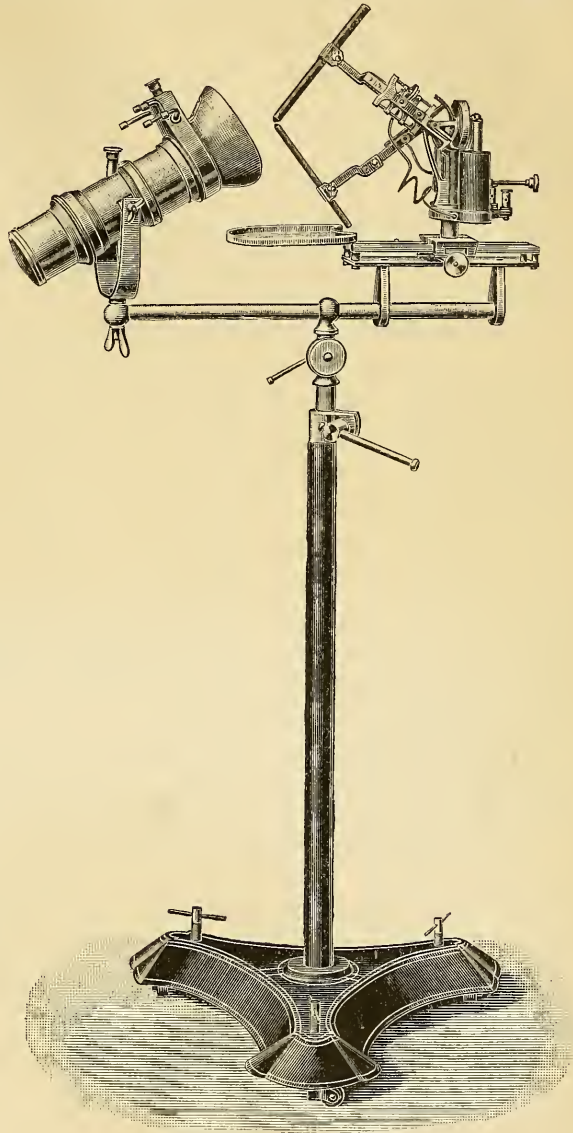


Fig. 122.

(Reiniger, Gebbert & Schall, Erlangen.)

Der Kondensator besteht aus einer oder zwei Doppellinsenkombinationen; die Linsen müssen, um gerade die chemisch wirksamen, speziell ultravioletten Lichtstrahlen durchzulassen, aus Bergkristall sein, nicht aus Glas. Um die enormen Wärmemengen, die sonst die schrecklichsten Brandwunden setzen würden, fortzuschaffen, müssen zwischen den Doppel-

linsen ausgiebige Wasserspülungen vorhanden sein; endlich ist ein Hauptbestandteil das „Druckglas“, eine Bergkristallplatte am der Lampe abgekehrten Ende des Kondensatorrohres, welche auf die Haut des Patienten fest angedrückt wird, um sie blutleer zu machen und so die Lichtstrahlen bis tief in die Gewebe dringen zu lassen.

Um die Menge der chemisch wirksamen Strahlen zu vermehren, hat man die positive Lampenkohle mit Eisenoxyd präpariert: Eisenlichtbehandlung, in der Art hergerichtet sind auch schwächere Lichtquellen, — „Dermolampe“ usw. — zur Behandlung von Hautkrankheiten angepriesen worden. Auch blaue Gläser sollen durch Absorption der roten und gelben Strahlen die chemisch wirksamen besser zur Wirkung gelangen lassen.

Am meisten in dieser Hinsicht leistet sicher die Anwendung der sog. Quecksilberbogenlampe nach dem Prinzip von Arons und Hewitt: in den beiden abgebogenen Enden eines evakuierten Glasrohrs befindet sich Quecksilber; wird zwischen diesen Quecksilbermassen der Lichtbogen geschlossen¹⁾, so füllt sich die Röhre mit blauviolett leuchtendem Quecksilberdampf; das Licht ist äusserst reich an ultravioletten Strahlen und dabei in bezug auf Stromverbrauch sehr ökonomisch. Da nun Glas die ultravioletten Strahlen absorbiert, hat man sich bemüht, dasselbe durch Quarz zu ersetzen oder wenigstens ein Fenster aus solchem Material in der Lampe anzubringen. Eine derartige Lampe ist neulich für medizinische Zwecke speziell eingerichtet, als „Uviol-Lampe“ (von Ultra-violett in den Handel gebracht worden.

Weitere Details oder gar kritische Betrachtung der Lichttherapie (Skepsis sehr am Platze!) gehören nicht in den Rahmen dieses Werkes.

112. Röntgenstrahlen. Allgemeines.

Ganz ausserordentliche Bedeutung in der Heilkunde haben in den zehn Jahren seit ihrer Entdeckung die Röntgenstrahlen gewonnen. Andererseits hat die an diese Entdeckung sich knüpfende intensive Arbeit der Physiker auf dem Gebiete der Strahlungen überhaupt für die Elektrizitätslehre, ja für die ganze Physik äusserst weittragende Ergebnisse erzielt: es ist somit hier ein derartig umfangreiches Wissensgebiet entstanden, dass hier wenig mehr gegeben werden kann, als eine knappe Darstellung des allerwichtigsten vom rein elektrotechnischen Standpunkte aus, im übrigen auf die äusserst umfangreiche Literatur verwiesen werden muss, welche speziell die medizinische „Röntgenwissenschaft“ oder „Radiologie“ in dieser kurzen Periode zeitigt hat.

Die Hervorbringung von Röntgens X-Strahlen ist abhängig von derjenigen der länger bekannten Kathodenstrahlen. Ver-

¹⁾ Auf die dazu gehörigen Einrichtungen kann hier nicht im Detail eingegangen werden.

dünnte Gase sind bekanntlich Leiter hochgespannter elektrischer Ströme, wobei Lichterscheinungen entstehen, welche in den sog. Geisslerschen Röhren besondere Intensität und Schönheit entfalten. In den Crookesschen (richtiger Hittorffschen) Röhren, in welchen die Verdünnung höher getrieben ist, erhält man die Scheidung in das Kathodenlicht, den dunklen Raum und das zunächst den grösseren Teil der Röhre einnehmende Anodenlicht. Wird die Verdünnung noch immer höher getrieben, so tritt das Anodenlicht immer mehr zurück und der dunkle Raum vergrössert sich: bei rund 1 Milliontel Atmosphäre nimmt derselbe fast die ganze Röhre ein und man sieht der Kathode gegenüber die Glaswand fluoreszierend aufleuchten — bei gewöhnlichem und Jenaer Glas in grünlicher Farbe: es handelt sich um Strahlen, welche von der Kathode ausgehen und jetzt als Abstossung feinsten Partikel — der negativen Elektronen — von dieser Kathode mit ungeheurer Geschwindigkeit gedeutet werden: sie können durch das magnetische Feld abgelenkt, ferner reflektiert und absorbiert werden: in letzterem Falle findet teilweise Umwandlung in andere Energieformen statt — die Stelle der Glaswand, welche im Kathodenfluoreszenzlicht aufleuchtet, erwärmt sich gehörig und ist ferner, wie Röntgen 1895 fand, Ausgangsstelle der X-Strahlen, über deren Natur verschiedene Hypothesen existieren, auf welche hier nicht eingegangen werden soll, — die sich auszeichnen durch die Fähigkeit, manche Stoffe, z. B. Baryum-Platincyanür zu lebhafter Fluoreszenz anzuregen, durch Wirksamkeit auf empfindliche photographische Präparate, endlich durch ein ausserordentlich grosses Durchdringungsvermögen, welches für die verschiedenen Stoffe verschieden ist, und zwar sehr gross (wie bei den Lichtstrahlen für „durchsichtige“ Körper) für bleifreies Glas, Holz, Gewebe, Haut, Muskeln und sonstige Weichteile des tierischen und menschlichen Körpers (doch hier mit sehr fein abgestuften Unterschieden), weniger gross für Knochen, Elfenbein, Metalle in dicken Lagen, besonders Blei und bleihaltige Gläser. Diese Eigenschaft ermöglicht es mit Hilfe der Röntgenstrahlen Schattenbilder der Skeletteile und dichteren Körperorgane durch den lebenden Körper hindurch entweder fürs Auge sichtbar auf dem Fluoreszenzschirm (mit Baryumplatincyanür oder ähnlichem präparierten Papierschirm) — Radioskopie — oder durch den Entwicklungsprozess darstellbar auf photographischen Platten zu entwerfen — Radiographie, Röntgenphotographie. Es ist klar, dass auf diese Weise, bei Knochenbrüchen, Verrenkungen usw. die Dislokation, ferner Verdickungen, Verlagerungen von inneren Organen, Geschwülste, metallische Fremdkörper dem Auge ohne jeden Eingriff sichtbar gemacht werden können, somit der chirurgischen und auch innermedizinischen Diagnostik ein Hilfsmittel gegeben ist, welches seit seiner Ent-

deckung immerfort technisch vervollkommnet, selbst die kühnsten anfänglichen Erwartungen eher übertroffen hat. Dazu käme noch die am Schlusse kurz zu erwähnende therapeutisch auszunutzende Wirkung der Röntgenstrahlen selbst auf gesunde und kranke Gewebe des Körpers.

113. Stromquellen, Unterbrecher, Gleichrichter.

Wie aus obiger kurzen Auseinandersetzung hervorgeht, ist die Bedingung der Entstehung der Kathoden- und damit der Röntgenstrahlen die elektrische Durchströmung stark evakuierter Glasröhren in einer bestimmten Richtung bei sehr hoher Spannung: ununterbrochener Gleichstrom von hunderttausenden bis Millionen Volt Spannung wäre das Ideal. Eine solche ist aber in praxi nicht herzustellen, man muss sich mit unterbrochenem begnügen und wir haben nun die besten dazu geeigneten Mittel zu betrachten: immer noch am meisten angewendet ist der Ruhmkorffsche Funkeninduktor, welcher mit Gleichstrom von Primärbatterien, Akkumulatoren oder Zentralen betrieben wird, indem man einen automatischen Unterbrecher in den primären Strom einschaltet. Besser als einfache Platin- oder Quecksilberunterbrecher sind die rotierenden Quecksilberunterbrecher verschiedener Konstruktion, welche durch einen Elektromotor betrieben werden.

Abgesehen davon, dass der Motor auch einen Platinstift rhythmisch in Quecksilber tauchen lassen kann, sind sie als Quecksilberstrahl- oder Turbinenunterbrecher gebaut: ein Quecksilberstrahl stellt unterbrochen Kontakt her, indem er entweder gegen einen rotierenden Kranz spritzt, welcher abwechselnd aus Metall- und isolierendem Stoff besteht; — oder der Strahl rotiert, der Kranz steht fest, — oder endlich Strahl und Kontaktstück steht fest und dazwischen rotiert ein unterbrochener Kranz aus isolierender Masse. Da sie zur Vermeidung der Erhitzung stets gut geölt werden müssen, ist Verschmieren der Kontakte der Hauptübelstand der rotierenden Quecksilberunterbrecher.

Die Sekundärrolle des Funkeninduktors gibt in diesem Falle Wechselströme von dem von früher her bekannten Verlauf, bei welchem die Öffnungsströme die bei weitem höhere Spannung haben: auf ihre Richtung kommt es für die Kathodenstrahlerzeugung denn auch an: die wenn auch viel niedriger gespannten Schliessungsströme sind für die Wirkung wie für den Bestand der Röhren nur schädlich, weshalb man durch die Anbringung des mit dem Primärkreis verbundenen Kondensators im Sockel des Apparates (S. 29) sie möglichst unschädlich zu machen sucht. Bei ihrem langsamen Verlauf treten sie von selbst um so mehr zurück, je grösser die Unterbrechungsfrequenz ist: fast rein gleichgerichtete Ströme erhält man darum auch ohne Kondensator bei der Verwendung der elektrolytischen Unterbrecher.

Der elektrolytische Unterbrecher von Wehnelt besteht aus einer Bleiplatte und einer Platinspitze, welche in einem Gefäss mit verdünnter Schwefelsäure einander gegenüberstehen: die Spitze wird zur Anode gemacht: infolge der grossen Stromdichte und wohl auch der Elektrolyse findet an der Spitze starke Erhitzung, Dampf- und Gasbildung statt, welche den Strom unterbricht, durch den Öffnungsfunken beseitigt wird, so dass wieder Stromschluss stattfindet und so fort. Bei dem elektrolytischen Unterbrecher von Simon liegt zwischen zwei Bleielektroden ein Tondiaphragma mit einigen sehr feinen Löchern, in welchen der wesentlich chemisch-mechanische Prozess stattfindet. Der Unterbrecher von Wehnelt eignet sich mehr für Spannungen unter 150, derjenige von Simon von über 150 Volt.

Die Verwendung der elektrolytischen Unterbrecher ergibt in der Funkenstrecke der Sekundärrolle einen äusserst kräftigen, lichtbogenartigen, laut pfeifenden oder schreienden Funkenstrom und in der Röntgenröhre äusserst wirksame Strahlen: man hat ihnen aber vorgeworfen die Entwicklung von Säuredämpfen, das laute Geräusch und sehr starke Abnutzung der Röntgenröhren. Trotzdem dürften sie für Abkürzung der Aufnahmezeit von grossem Wert sein und zum mindesten abwechselnd mit dem Quecksilberstrahl-Unterbrecher zu empfehlen sein; Fig. 123 zeigt eine vollständige Röntgeneinrichtung mit einem Quecksilber- (oben) und einem dreiteiligen Wehnelt-Unterbrecher (unten) zur abwechselnden Benutzung, ausserdem im Vordergrunde die Röntgenröhre und rechts die Schalttafel mit den hier natürlich besonders nötigen Regulierapparaten, — Rheostate, Ampèremeter usw.

Die Grösse des Funkeninduktors soll derart sein, dass etwa 30 cm Schlagweite erreicht werden; es genügt auch weniger.

Sehr wichtig ist in Hinsicht auf den Betrieb von Röntgenstrahlen verschiedenen „Härtegrades“ (s. unten), dass die Selbstinduktion der primären Spirale, und damit die Spannung im Sekundärkreise in weiten Grenzen veränderlich und regulierbar gemacht werde: dies geschieht dadurch, dass die Primäerspule in gesonderten Abteilungen (6—8) gewickelt ist, welche nach Belieben hintereinander resp. parallel geschaltet werden können, — am einfachsten durch Kontaktschieber an der Spule selbst, — oder aber durch Vorrichtungen am Schaltbrett.

Wo Wechselstrom einer Zentrale zur Verfügung steht, da kann er entweder in Gleichstrom transformiert und dieser dann in der bisher besprochenen Weise benutzt werden, oder aber der Wechselstrom resp. eine Phase des Drehstroms kann zunächst auf genügend hohe Spannung transformiert werden mittelst eines „Hochspannungstransformators mit eisengeschlossener Primäerspule“. Es sind bei einem solchen (Fig. 124) die primären und sekundären Wickelungen

auf einer gemeinsamen Hartgummispule (natürlich mit allen notwendigen Isolationszwischenlagen!) angebracht, und der Eisenkern geht auf einer

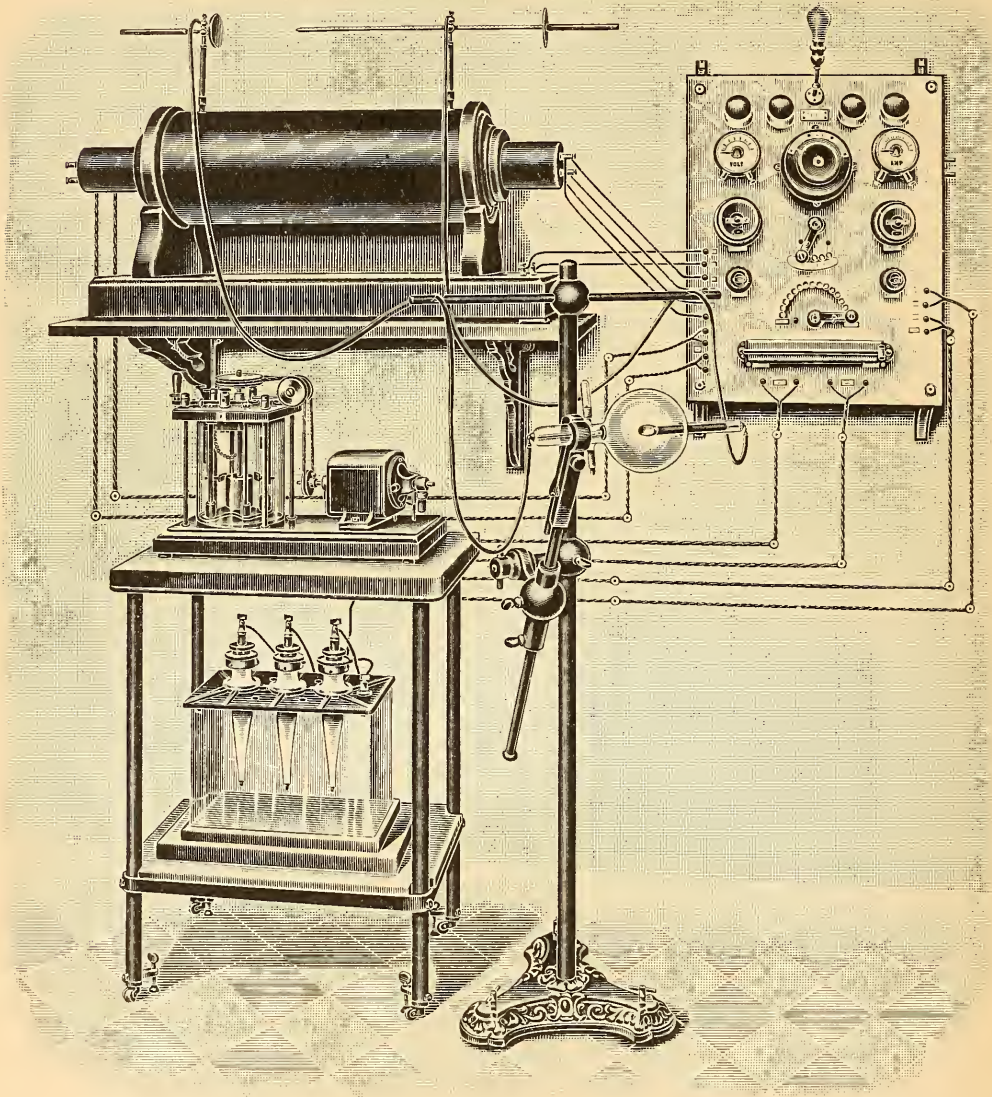


Fig. 123.

(Reiniger, Gebbert & Schall, Erlangen.)

oder beiden Seiten um die Sekundärspule herum, beide ringförmig umschliessend.

Die besonders günstige Feldanordnung ist wohl ohne weiteres klar. Andere Transformatoren haben einen eisernen Ring oder ein Rechteck, dessen eine Seite resp. Hälfte dünn, die andere dick bewickelt ist: auch

der Heruntertransformator von Ruhstrat (Fig. 112) ist dementsprechend konstruiert.

Solch ein Wechselstromhochspannungstransformator braucht nicht einen Unterbrecher im primären Kreise; die hochgespannten Wechselströme seines sekundären Kreises dürfen aber nicht ohne weiteres der Röntgenröhre zugeleitet werden, sondern müssen erst „gleichgerichtet“ werden. Hierzu kann ein, hier nicht näher zu beschreibender, passender rotierender Kommutator verwendet werden, welcher durch einen in den primären Strom eingeschalteten Wechselstrom-Synchronmotor getrieben wird und auf synchronisches Kommutieren der sekundären Spannungs-

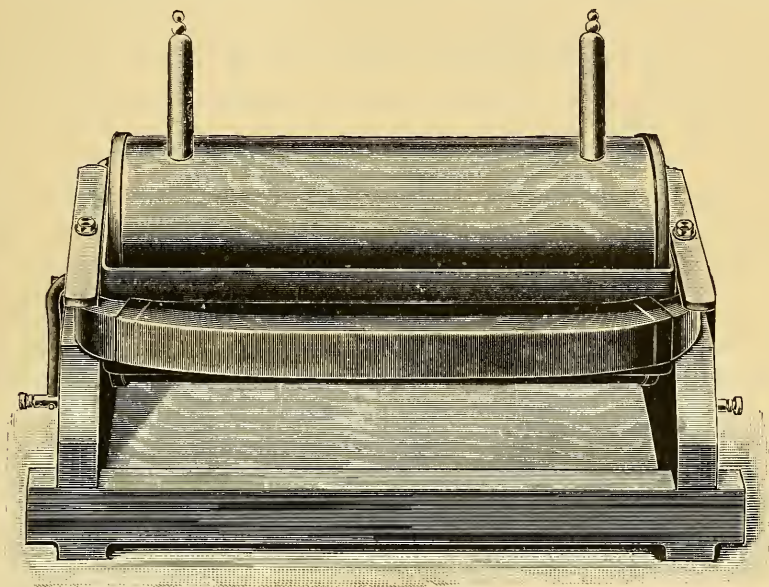


Fig. 124.

ströme resp. Funkenrichtungen konstruiert ist. Natürlich kann nach diesem Prinzip auch schon der ursprüngliche Wechselstrom im primären Kreise gleichgerichtet werden, dann noch einen Wehnelt-Unterbrecher treiben und eventuell auch einem gewöhnlichen Funkeninduktor zugeführt werden. Für diesen Zweck geeigneter ist indessen die neueste **elektrolytische Gleichrichter**-Konstruktion, deren Wesen in der von L. Grätz erfundenen, sogenannten Ventilzelle besteht.

Es ist dies gewissermassen ein Voltameter, bei welchem nur die eine Platte sich mit abgeschiedenem Gas überzieht und einen polarisatorischen Gegenstrom liefert, die andere aber nicht: werden solche Ventilzellen in passender Weise — die polarisierten Elektroden stets mit nur einer, die unpolarierten mit zwei Ableitungen geschaltet, so lässt diese Batterie von einem zugeleiteten Wechselstrom immer nur die Impulse der einen Richtung durch, die anderen aber nicht: diese letzteren dienen vielmehr zur Polarisation der unipolaren Elektroden und kommen zum Teil der anderen Richtung

zugute: es geht nicht etwa (wie bei einfacher Ablendung der Schliessungsschläge, wie sie zu physiologischen Zwecken an kleinen Induktorien wohl vorgenommen wird) 50% der Gesamtenergie verloren, sondern weniger, und zwar natürlich als Erwärmung der Gleichrichtzellen.

Eine im hohen Grade als Ventilzelle brauchbare unipolare Kombination liefert das Aluminium resp. dessen Legierungen zusammen mit passenden Elektrolyten (Ammoniumphosphat); um die Polarisation zu halten, stellt man die betr. Elektrolyten schräg, so dass die an der Unterfläche gebildeten Sauerstoffbläschen nicht entweichen können. Derart eingerichtet ist vor allem der Original-Grisson-Gleichrichter des Grisson-Werkes in Heidenau bei Dresden. Eine „Anlassvorrichtung“ dient zur vorgängigen Polarisation, bis (nach wenigen Sekunden) der Gleichrichter seine Funktion überwachen kann. Andere Konstruktionen benutzen eine Vorpräparation der Platte, ähnlich wie bei den Akkumulatoren.

Ein gewisses wellenartiges Auf- und Abschwanken des gleichgerichteten Stromes bleibt bestehen, ist aber für die hier in Rede stehenden Zwecke belanglos, wird ausserdem durch die Selbstinduktion der primären Spirale „abgedrosselt“.

Für die heutigen Ansprüche der Röntgentechnik nicht mehr recht in Betracht kommen die Influenzmaschinen; — ebenso wenig die Hochfrequenztransformatoren der gewöhnlichen Anordnung.

Dagegen empfiehlt das Grisson-Werk (s. oben) seinen „Grisson-Resonator“ auch für Röntgenzwecke: bei demselben wird in einen Gleichstromkreis eine Selbstinduktion (Primärspule) zu einer Kapazität in Reihe geschaltet (s. S. 36), welche aus einem elektrolytischen Kondensator besteht, mit 100 Mf. Kapazität.

Es ist dies eine der oben beschriebenen Gleichrichtzelle durchaus analoge Unipolarzelle mit zwei Aluminiumelektroden, welche ausserhalb des Betriebes von Netz-Gleichströmen polarisiert erhalten wird.

Nach eingeleiteter Schwingung wird die Funkenstrecke resp. deren Ersatz durch einen einfachen Kommutator kurz geschlossen und so starke, möglichst wenig gedämpfte Schwingungen erhalten: je nach dem Orte der Transformation erhält man dann abwechselnd gerichtete Hochspannungs- und Hochfrequenzströme, welche zur „Arsonvalisation“, zum Betriebe von therapeutisch zu benutzenden „Resonanz-Elektromagneten“ dienen, oder aber gleichgerichtete Hochspannungs- und Hochfrequenzströme, welche einen idealen Röntgenbetrieb ermöglichen sollen. Auch „Universal-Instrumentarien“ werden angeboten.

114. Röntgenröhren. Härtegrad.

Die Röntgenröhren werden jetzt, ungeachtet aller Verschiedenheiten im einzelnen, stets nach einem Grundtyp hergestellt: man lässt die Kathodenstrahlen von der in dem mehr zylindrischen Röhrenanteil befindlichen Platinkathode a (Fig. 125), deren innerem Ende man die Gestalt eines Hohlspiegelchens gibt, auf eine unter 45° geneigte Platinplatte fallen, welche im Zentrum des kugelförmigen Röhrenanteils befindetlich, die Kathodenstrahlen absorbiert und zum Ausgangspunkt

kräftiger im Sinne der Radien einer Halbkugel überall hinausgehender Röntgenstrahlen wird; diese Platinplatte heisst die Antikathode *c*; sie wird mit dem + Pol der Hochspannungsquelle verbunden, aber auch mit der kleinen Aluminiumanode *b*, welche bei der Herstellung des Vakuums

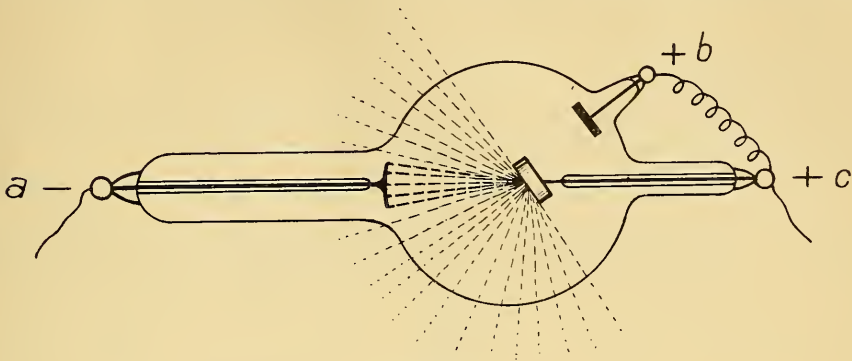


Fig. 125.

der Röntgenröhre dazu gedient hat, vermittelt kräftiger Entladungen und Erhitzens die letzten von Glas- und Metallteilchen okkludierten Gaspartikel zu entfernen.

Das Durchdringungsvermögen der Röntgenstrahlen nimmt zu mit wachsender Geschwindigkeit der sie erzeugenden Kathodenstrahlen und diese Geschwindigkeit wird um so grösser, je stärker das Vakuum ist: die stärker durchdringenden Strahlen und die sie erzeugende stärker

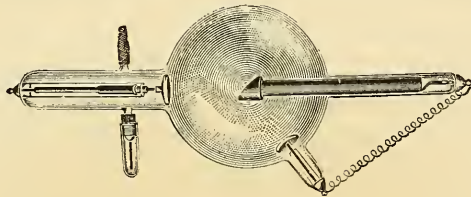


Fig. 126.

(Reiniger, Gebbert & Schall, Erlangen.)

evakuierte Röntgenröhre hat man sich gewöhnt als „hart“ zu bezeichnen, die weniger stark evakuierte Röhre als „weich“. Für medizinische Zwecke ist ein gewisser mittlerer Härtegrad nötig. Nun zerstäubt aber durch die hindurchgehenden Entladungen das Elektrodenmetall; die Teilchen nehmen Gas auf, und so wird das Vakuum während des Betriebs immer höher, die Röhre, resp. die von ihr ausgesendeten Röntgenstrahlen immer härter: sie braucht darum immer mehr Spannung, und die Bilder werden immer kontrastärmer, indem schliesslich die Knochen nahezu eben so stark durchdrungen werden, wie die Weichteile. Man hat deshalb den Härtegrad regulierbar, resp. die zu hart gewordene

Röhre regenerierbar zu machen gesucht; entweder indem man innerhalb der Röhre eine beim Erwärmen Gas abgebende Substanz anbrachte, oder indem man einen Palladiumdraht einschmolz, welcher beim Erhitzen mit einer Spirituslampe Wasserstoff in die Röhre diffundieren lässt: letztere Konstruktion zeigt Fig. 126. Nach längerem Gebrauch wird natürlich jede, auch die beste Röntgenröhre unbrauchbar.

115. Zubehör.

Die Röntgenstrahlen lassen sich nicht beugen noch brechen noch reflektieren, wie die Kathoden-, Licht- und andere Strahlen.

Dies ist darum verhängnisvoll, weil es die Gestalt und Schärfe der Schattenbilder beeinträchtigen muss: im allerbesten Falle, wo die Röntgenstrahlen von einer sehr kleinen Antikathode ausgehen, hat man ein Bild

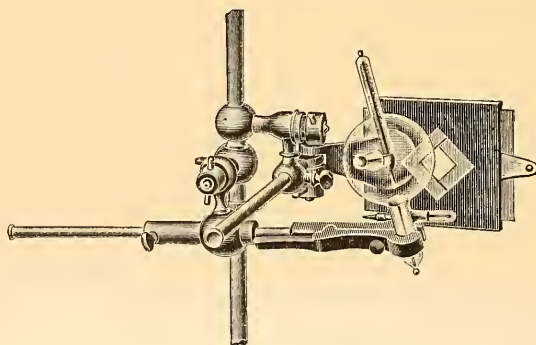


Fig. 127.

(Reiniger, Gebbert & Schall, Erlangen.)

in „Zentralprojektion“, welches um so weniger scharf und richtig wird, je grösser die Dicke und je verwickelter der Bau des zu durchleuchtenden Körpers ist — Kopf-, Rumpf-, Becken-Aufnahmen. Um dem zu begegnen, hat man zunächst einmal Blenden der verschiedensten Art konstruiert, meist aus dem die Strahlen stark zurückhaltenden Blei: durch Verschiebung veränderliche quadratische Öffnungen (Fig. 127). Andere, z. B. trichterförmige Blendenarten dienen der therapeutischen Anwendung der Röntgenstrahlen. Man hat ferner zur genaueren Bestimmung der Organgrenzen z. B. des Herzens bei der Durchleuchtung Röntgenröhre nebst Schirm in genau durch Gradbogen und Zentimeterskala ablesbarer Weise verschiebbar gemacht und eine Zeichentafel eingeschaltet, auf welcher sich der so in Parallelprojektion (statt Zentralprojektion) erhaltene Umriss einzeichnen lässt: Orthodiagraphie nach Levy-Dorn, Fremdkörperlokalisationsmethode nach Mackenzie-Davidson.

Indessen sind dies alles bereits Einzelheiten, welche die Technik der näheren Anwendung der Röntgenstrahlen betreffen und mit dem eigentlichen Thema dieses Werkchens nicht mehr näher zusammenhängen.

Es sei nur noch erwähnt, dass man verschiedene Methoden zur Bestimmung des Durchdringungsvermögens oder sog. Härtegrades der Röntgenstrahlen angegeben hat, wie künstlich präparierte Skelethände, verschiebbare Keile von Aluminium nebst Skala, endlich zur Messung der Quantität der Strahlen sog. Chromoradiometer nach Holzknecht in Wien, mit willkürlich bestimmten Einheiten.

Natürlich gehören zu „röntgographischen Aufnahmen“ Aufnahme- resp. Stühle für den Patienten, allseitig verstellbare Stative für die Röhre; Kassetten, Trockenplatten, Dunkelkammer und aller photographische Zubehör.

Als „Kryptoskop“ bezeichnet man einen einfachen konischen innen geschwärzten Kasten mit Öffnung zum Hineinsehen an dem verjüngten Ende und Fluoreszenzschirm an dem anderen, zum Betrachten des „radioskopischen Bildes“ auch im nicht verdunkelten Raume. Zur Betrachtung der fertigen Platten hat man Transparenschaukästen angegeben, von innen durch Glühlampen beleuchtet usw. usw.

Um nochmals auf das eigentliche elektrische Instrumentarium zurückzukommen, so soll nicht versäumt werden, hierfür wie für die Technologie der gesamten Elektromedizin das unlängst erschienene Buch warm zu empfehlen: Zacharias und Muesch, Konstruktion und Handhabung elektromedizinischer Apparate, Berlin, 1905.

116. Therapeutische Verwendung der Röntgenstrahlen. Becquerelstrahlen, Radioaktivität.

Als sehr wichtig hat sich eine anfänglich erst langsam bekannt werdende Eigenschaft der Röntgenstrahlen erwiesen, nämlich auf lebende Zellen und Gewebe bei genügend intensiver und langer Bestrahlung zerstörend, in der Haut des menschlichen Körpers entzündungserregend zu wirken. Es wurden die mittelst Röntgenstrahlen photographierenden Ärzte durch höchst schmerzhaft und langwierige Verbrennungen, welche sie selbst, aber auch gelegentlich die Patienten erlitten, auf diese Tatsache aufmerksam, und man ist selbstverständlich bemüht, vor diesen unliebsamen „Nebenwirkungen“ Schutz zu ermöglichen: für den Patienten durch genügende Entfernung von der Röntgenröhre selbst und möglichste Abkürzung der Expositionsdauer, welche in der Tat bei den modernsten gewaltigen Instrumentarien bis zum Bruchteil einer Sekunde in günstigsten Fällen hat gebracht werden können, so dass selbst eine Art kinematographischer Schattenbilder der Herz-, Atembewegungen u. a. möglich geworden ist: — durch zwischengeschaltete Bleiplatten, Schutzbrillen mit bleihaltigen Gläsern, Handschuhe mit Bleifolien usw. für den Arzt resp. Experimentator.

Die entzündungserregenden, auch antibakteriellen Eigenschaften der Röntgenstrahlen hat die Therapie denn auch benutzt zur Behandlung

vieler Hautkrankheiten: die Erfolge bei Lupus und Hautkarzinom, chronischem Ekzem u. a. sind nicht zu bestreiten. Natürlich müssen bei der Behandlung nicht zu behandelnde Partien sorgfältig vor den Strahlen geschützt werden, was man durch trichterförmige Blenden erreicht, die zugleich zur Kompression der zu bestrahlenden Hautstelle dienen (wie beim Finsen-Licht), um ein möglichst tiefes Eindringen der Wirkung zu ermöglichen: hieran scheint es nun sehr zu fehlen, so dass die Erwartungen für die Behandlung tieferer Organerkrankungen nicht hoch gespannt werden dürfen: mehr ist in dieser Hinsicht zu erwarten von den Becquerelstrahlen, die von sog. radioaktiven Materien ausgesendet werden, insbesondere von dem durch das Ehepaar Curie in der Uranpechblende entdeckten neuen Element, dem Radium. Von den ausgesendeten beiden Strahlenarten, den α - und β -Strahlen haben die ersteren das grössere Durchdringungsvermögen und haben unverhältnismässig bedeutende antibakterielle Wirkung, selektive chemische Wirkung auf bestimmte Bestandteile der lebenden Substanz usw. erkennen lassen. Da verhältnismässig sehr grosse Energiemengen von winzigen Radiummengen ausgesendet werden, sind die, allerdings sehr teuren und schwer zu beschaffenden Radiumpräparate befähigt, ihre Wirkungen von Körperhöhlen, Wundkanälen usw. auch tiefer im Organismus auszuüben; es liegen in dieser Hinsicht bereits vielversprechende Anfänge vor. Dieses, ebenso wie die Diskussion der Radioaktivität der Mineralwässer u. a. tritt indessen aus dem Zusammenhange der Medizin und Biologie mit den elektrischen Kräften (wenngleich ja die magnetische Ablenkbarkeit der Becquerelstrahlen wie die Ionisation der Gase durch die Röntgenstrahlen die so wichtigen theoretischen Zusammenhänge mit der elektrischen Energieform bestätigen) so sehr heraus, dass wir den Leser auf die Spezialliteratur verweisen und hiermit unsere Ausführungen schliessen müssen. —

Sach-Register.

A.

Abgleichungen, unipolare 72.
Absolutes Mass 42.
Akkumulator 16, 59, 167 f.
Aktionsströme 70 ff.; zeitlicher Ablauf 72 ff.
Alterationspotential, Grössenordnung 70;
Bedeutung 81.
Alterationstheorie der bioelektrischen Er-
scheinungen 67.
Alternativen, Voltasche 124.
Ampère 17.
Ampèremeter 46.
Ampèresche Schwimmregel 17.
Anaphorische Wirkung 62.
Anelektrotonischer Strom 77.
Anelektrotonus 93.
Anfangszuckung 88.
Anionen 56.
Anode 14.
Anschlussapparate 121, 140.
Aperiodisierung 46.
Arbeit, elektrische 22; Messung 53.
Arsonvalisation 155 ff.
Astasie 45.
Atembewegungen, Lähmung durch den Strom
110 ff.
Auge, elektrische Reizeffekte am 100.
Augenelektromagnet 169.
Ausfällung der Kolloide durch die elektrische
Ladung der Ionen 93.
Autokonduktionsversuch 37, 157.

B.

Bäder, elektrische 150 f.
Baryumplatincyankürschirm 179.

Batterie, galvanische 21.
Becquerelstrahlen 188.
Beleuchtung, elektrische 172.
Bioelektrische Erscheinungen 67.
Blitzfiguren 108.
Blitzschlag, Wirkungen desselben 107 ff.
Blutkörperchen, rote, Zerstörung derselben
durch den elektrischen Strom 106.
Biot-Savartsches Gesetz 17.
Blockierung des Nerven durch Elektrotonus
94.
Brennen, Gefühl des Brennens an der Ka-
thode 88.
Brücke, Wheatstonesche 50.
Bürste, faradische 146.
Bunsensches Element 16.

C.

Coulomb 18.
Coulombs Gesetz 2.

D.

Dämpfer 28.
Daniell'sches Element 15.
Degeneration, siehe Entartung.
Deklination 10.
Demarkationsstrom 68.
Depolarisation 15.
Diamagnetismus 11.
Diaphanoskopie 173.
Dielektrische Polarisierung, diel. Widerstand 8.
Dielektrizitätskonstante 7, 8.
Dielektrikum 5.
Differente Elektrode 97.
Differentialrheotom 73.

Diffusion und Elektrizitätserzeugung 62 f.
 Diffusionsmembran, semipermeable 66.
 Dissoziation, elektrolytische 54 ff.
 Doppelresonator 156.
 Doppelschicht, elektrische 64.
 Drehfeld 33.
 Drehmagnetgalvanometer 44.
 Drehspulgalvanometer 44.
 Drehstrommotor 33.
 Drehwage 2.
 Drüsenströme 68.
 Dusche, Franklinsche 155.
 Dynamomaschine 31.

E.

Einführung von Medikamenten durch den Strom 161.
 Eisenkern 28.
 Eisenlichtbehandlung 178.
 Ektoplasma 78.
 Elektrisches Organ der Zitterfische 76.
 Elektrisierung, allgemeine 150.
 Elektrizität als Reiz 82.
 Elektrizitätsleitung in Flüssigkeiten 54.
 Elektrizitätsmenge 2; elektrostatische Einheit 2; elektromagnetische 18.
 Elektrizitätszähler 53.
 Elektroden, gleichartige und unpolarisierbare 66, 71; differente und indifferente 97; virtuelle 97.
 Elektroden zur Elektrodiagnostik und Therapie 125 ff., 142 ff.
 Elektrodiagnostik 121 ff.
 Elektrodifffusion 62.
 Elektrodynamik 2.
 Elektrodynamometer 47.
 Elektrokinesis 103.
 Elektrokonvektion 62.
 Elektrolyse, chirurgische 159.
 Elektrolyte 14, 55.
 Elektrolytische Leitung 54.
 Elektromagnet 23.
 Elektromagnetismus 17 ff.
 Elektromagnetische Therapie 162 f.
 Elektrometer 51.
 Elektromotoren 17, 23, 166.
 Elektromotorische Kraft 13; Messung 51 ff.
 Elektronarkose 165.
 Elektronen 39.
 Elektropathologie 105; Begriff 82.
 Elektrophor 5.
 Elektrophysiologie, Begriff 82.
 Elektropunktur des Herzens 164.

Elektrostatik 2.
 Elektrotherapie 137 ff.
 Elektrotische Ströme 77.
 Elektrotonus 93 ff.
 Elemente, galvanische 14; konstante 15; sekundäre 16.
 Elementenzähler 122.
 Endoskopie 172.
 Entartung, Wirkung auf den zeitlichen Verlauf des Aktionsstroms 117.
 Entartungsreaktion 120, 129; Erklärung derselben 132 ff.
 Erdmagnetismus 10.
 Ermüdung, Wirkung auf den zeitlichen Verlauf des Aktionsstroms 74, 117 f.
 Erregungsgesetze, elektrische 85 ff.
 Erregungswelle 72.
 Erschütterungsmassage 168.
 Extraströme 25.

F.

Facialislähmung 143.
 Farad 29.
 Faradimeter, absolutes 124 f.
 Faradisation 26, 144 ff.; der Phrenici 165.
 Faradische Erregbarkeit, Untersuchung derselben 124 f.
 Faradokutane und faradomuskuläre Sensibilität 134.
 Feld, elektrisches 2; magnetisches 11; Feldstärke 3, 11; physiologische Wirkungen des elektrischen und magnetischen Feldes 103.
 Fernwirkung 8.
 Finsenbestrahlung 177.
 Flächendichte 4.
 Flammströme 76.
 Flimmern des Herzens 107.
 Fluidum, elektrisches 1.
 Flüssigkeitskette 65.
 Franklinisation 152 ff.
 Funkeninduktor 29.

G.

Galvanisation 140 ff.
 Galvanische Erregbarkeit, Untersuchung derselben 122 ff.
 Galvanofaradisation 147.
 Galvanokaustik 169 ff.
 Galvanometer 44; ballistisches 46.
 Galvanoplastik 23.
 Galvanostegie 23.

Galvanotaxis 91.
 Galvanotropismus 91.
 Gaskette 65.
 Gehirn, Erscheinungen bei elektrischer Durchströmung 182.
 Gehörorgan, elektrische Reizeffekte an demselben 101.
 Geruchsempfindungen durch elektrische Reizung 102.
 Geschmack, elektrischer 101 f.
 Gleichrichter für Wechselstrom 182 ff.
 Glühlichtbad 175.
 Grenzschichttheorie der bioelektrischen Erscheinungen 78; der Erregungsleitung 80.
 Grovesches Element 16.

H.

Härtegrad der Röntgenröhren 184.
 Halbleiter 2.
 Hauptschlussdynamo 22.
 Helmholtzsche Einrichtung am Schlitteninduktorium 28.
 Henry 25.
 Herz, Lähmung durch den Strom 110 ff.
 Hinrichtungen durch den elektrischen Strom 112.
 Hintereinanderschaltung 20.
 Hitzdrahtampèremeter 47.
 Hochfrequenzkondensator 157.
 Hochfrequenzstrom 37.
 Hochspannung 32.
 Horizontalintensität des Erdmagnetismus 10.
 Hypästhesie und Hyperästhesie, elektrische 135.
 Hysterie, Faradisation gegen dieselbe 146.

I.

Impedanz 36.
 Indifferente Elektrode 97.
 Indikatoren 65.
 Induktanz 35.
 Induktionsapparate zur Faradisation 144 ff.
 Induktionslinien, elektrische 9; magnetische 11.
 Induktionsströme 24.
 Induktorien 25 f.
 Influenz 4.
 Influenzelektrifiermaschine 5, 6, 152 ff.
 Inklination 10.
 Integralerregung 87.
 Ionen 56.
 Ionenlösungsvermögen, spezifisches 83.
 Isolatoren, s. Nichtleiter.

J.

Joules Gesetz 22.
 Joulesche Wärme 22.

K.

Kapazität, elektrostatische 4; elektromagnetische eines Kondensators 29; des menschlichen Körpers 109.
 Kapillarelektrometer 51.
 Kataphorese 51 f., 161 ff.
 Katelektrotonischer Strom 77.
 Katelektrotonus 93.
 Kathode 14.
 Kathodenschliessung, stärkere Wirkung derselben 90.
 Kathodenstrahlen 178.
 Kationen 56.
 Kernleiter 80.
 Kette, galvanische 14 f.
 Kilowattstunde 22.
 Klemmspannung 21.
 Kohlensäure als Grundlage der Alterationsnegativität 79.
 Kollektor 30, 122.
 Kolloide 54, 60.
 Kommutator, s. Stromwender.
 Kompensationsmethode, Kompensator 50, 51.
 Kondensator 5—7.
 Kondensatorbett 157.
 Kondensatorentladungen als Reiz 86; Anwendung in der Elektrodiagnostik 135.
 Konduktoren, s. Leiter.
 Kontraktionswulst 88.
 Konzentrationskette 63 f.
 Kraft, elektromotorische 13; Messung 50 ff.
 Kraftlinien, elektrische 3; magnetische 11.
 Kraftübertragung, elektrische 31.
 Kryptoskop 187.
 Kurzschluss 20.

L.

Ladungsfähigkeit, s. Kapazität.
 Lähmungen nach Blitzschlag oder elektrischen Unfällen 114.
 Längsquerschnittstrom 70.
 Leclanché-Element 16.
 Leiter 2.
 Leitfähigkeit, molekulare 60.
 Leitungsvermögen, spezifisches 18.
 Leitungswiderstand des lebenden Körpers 83 ff.

Lenzsches Gesetz 24.
 Lichttherapie 175.
 Lokalisationsgesetz 75.
 Lösungsdruck, elektrolytischer 58.
 Luftbad, elektrisches 155.
 Lumineszenz 38.

M.

Magnetelektrische Maschinen 29.
 Magnetisches Moment 9.
 Magnetisierungsintensität 10.
 Magnetismus, remanenter 9.
 Magnetpole 9.
 Massage, Kombination mit Faradisation 145.
 Masseinheiten, absolute 42.
 Mehrphasenstrom 33; verketteter 34.
 Mehrleitersysteme 34.
 Membran, semipermeable 63, 78.
 Messbrücke 50.
 Messdraht 50.
 Messungen, elektrische 42 ff.
 Mikrofarad 29.
 Milliampère 17.
 Milliampèremeter 46.
 Molekularmagnet 9.
 Moment, magnetisches 9.
 Monopolare Reizmethode 98.
 Mortonsche Ströme 155.
 Motorische Punkte 127 ff.
 Muskelkrämpfe durch Starkstrom 113.
 Muskelströme 69 ff.
 Muskelzylinder 70.

N.

Nachschwankung, positive 77.
 Narkose, Wirkung auf den zeitlichen Verlauf des Aktionsstroms 74, 116f; Wiederherstellung der Funktion nach derselben 117.
 Nebeneinanderschaltung 22.
 Nebenschluss 20 f.
 Nebenschlussdynamo 31.
 Negative Elektrizität 1.
 Negative Schwankung des Muskel- und Nervstromes 72.
 Negativität alterierter Gewebstellen 67.
 Negativitätswelle 73.
 Neigungsströme 70.
 Nernsts Theorie der galvanischen Kette 58.
 Nervenströme 69 ff.
 Neuralgien 143 f.
 Neurasthenie 146, sexuelle 147.
 Nichtleiter 2.

Niveaufläche 3.
 Nullmethode 50.
 Nystagmus bei elektrischer Durchströmung des Gehirns 102.

O.

Öffnungsfunke 25.
 Öffnungsinduktionsschlag 26, stärkere physiologische Wirkung 86.
 Ohm 19.
 Ohmsches Gesetz 18.
 Orthodiagraphie 186.
 Oszillographie 36.
 Oudins Resonator 38.

P.

Pacinottischer Ring 30.
 Panzergalvanometer 46.
 Paramagnetische Stoffe 11.
 Peltier-Effekt 40.
 Peripolare Zone 98; Reizmethode 99.
 Permeabilität 11.
 Phasische Aktionsströme 75.
 Pinsel, faradischer 146.
 Polare Reizmethode 98.
 Polares Erregungsgesetz 88 ff.; Erklärung desselben 91 ff.; Erhaltung desselben in pathologischen Zuständen 119.
 Polarisation, galvanische 15.
 Polarisatorisches Dekrement und Inkrement der Erregung 95.
 Polarisierbarer Kernleiter 80.
 Positive Elektrizität 1.
 Positive Nachschwankung 77.
 Positive Schwankung 119.
 Potential, elektrisches 3; der Erde 4; magnetisches 11.
 Pulsierender Gleichstrom 149.

Q.

Quadrantenelektrometer 57.
 Quantitätsstrom 31.
 Quecksilberbogenlampe 178.

R.

Radioaktivität 188.
 Radiographie, Radioskopie 179.
 Radium 188.
 Reaktionen, sekundäre 58.
 Reaktionsstimmung tierischer Flüssigkeiten 65.
 Refraktärperiode 87.

Registrierung der Aktionsströme 75.
 Reibung, Elektrizitätserzeugung durch 1.
 Reibungselektroskopmaschine 5.
 Resonanz 36 f.
 Resonator 38, 39, 156.
 Rheochord 48.
 Rheographie 36.
 Rheonome 86.
 Rheophore 126.
 Rheostat 48.
 Richtmagnet 45.
 Ring, Pacinottischer (Grammescher) 30.
 Ringmagnet 11.
 Röntgenröhren 184.
 Röntgenstrahlen 178 ff.
 Ruheströme 68.

S.

Saitengalvanometer 73.
 Schaltung von Elementen 19, 21.
 Schirmwirkung, elektrische 5; magnetische 12.
 Schliessungsinduktionsschlag 26.
 Schlitteninduktorium 28.
 Schwindel, galvanischer 102.
 Schwingungen, elektrische 36 f.
 Sekretionsströme 70.
 Selbstinduktion 24.
 Selbstinduktionskoeffizient 25.
 Siemenssche Einheit 29.
 Sinusstrom 34 f., therapeutische Anwendung (sinusoïdale Faradisation) 148 ff.
 Solenoïd 23.
 Spannung 18 f.; Messung 50 ff.
 Spannungsreihe 13.
 Spannungsstrom 31.
 Spiegelgalvanometer 44.
 Spitzenwirkung 4.
 Starkströme, Gefahren derselben 108 ff.
 Steilheit der Stromschwankung, Bedeutung für die Erregung 85 ff.
 Strahlungserscheinungen 39.
 Streuung, magnetische 11.
 Strikturen, Beseitigung durch Elektrolyse 159.
 Stromdichte, Bedeutung für die elektrische Erregung 85.
 Stromlosigkeit unversehrter Muskeln und Nerven 68.
 Stromquellen, elektrische 13.
 Stromschleifen 72.
 Stromschlüssel 124.
 Stromstärke 13, 17; Messung 43 ff.
 Stromverzweigung 19.

Stromwähler 125.
 Stromwender 123.
 Suggestion, Mitwirkung bei der Elektrotherapie 138.
 Summierung der Zuckungen 87.
 Synchronmotor 33.

T.

Tangentenbussole 43.
 Tauchbatterien 140.
 Telegraphie, drahtlose 39.
 Telephonbetrieb, Unfälle in demselben 115.
 Teslaströme 38.
 Tetanus des Muskels 87.
 Theorie, elektromagnetische des Lichts 39;
 Nernstsche, der galvanischen Kette 58.
 Thermoelektrizität 40.
 Thermosäule 41.
 Thomsongalvanometer 45.
 Tod durch Elektrizität 105.
 Transformatoren 32 f.
 Tripolare Reizmethode 99.

U.

Überführungszahlen 56.
 Übergangswiderstand 63.
 Umkehr der Zuckungsformel 132 f.
 Unfälle, elektrische, Hilfe bei denselben 113 f.
 Unfallneurosen, elektrische 114.
 Unipolare Abgleichungen 72.
 Unipolare Reizmethode 98.
 Unpolarisierbare Elektroden 71.
 Unpolarisierbare Kombinationen 59.
 Unterbrecher, automatische 180, elektrolitische 181.
 Unterbrechungselektrode 124.
 Uviollampe 178.

V.

Ventilzelle 183.
 Verbunddynamo 31.
 Verteilung 4.
 Vibrationsmassage 168.
 Vierzellenbad, elektrisches 152.
 Volt 19.
 Voltmeter 43.
 Voltampère 22.
 Voltmeter 52.
 Voltregulator 22.
 Vorreiberschlüssel 20.

W.

Wagnerscher Hammer 26.
 Wanderungsgeschwindigkeiten der Ionen 57.
 Wärme, Joulesche 22.
 Watt 22.
 Wechselströme, hochgespannte, belebende
 Wirkung auf das Herz 112.
 Wechselstrom 30; Theorie 34; Messung 47.
 Wechselstrommotor 33.
 Wellen, elektrische 38, 39.
 Wheatstonesche Brücke 50.
 Widerstand 187; Messung 48 ff.; von Flüssig-
 keiten, Messung 61.
 Wogen, galvanisches, des Muskels 107.

Z.

Zeitdauer der Aktionsströme 75.
 Zeitreiz 88.
 Zentralnervensystem, elektrische Reizeffekte
 an demselben 103; Läsionen durch Stark-
 strom 111.
 Zersetzungsspannung 55, 102.
 Zuckung 87.
 Zuckungsgesetz für das ausgeschnittene
 Froschpräparat 96.
 Zuckungsgesetz der Elektrodiagnostik 98.
 Zwangsbewegungen 102.
 Zystoskopie 172 ff.

Lehrbuch
der
Haut- und Geschlechtskrankheiten.

Von
Prof. Dr. **Eduard Lang**
in Wien.

I. Band. **Lehrbuch der Hautkrankheiten.**

87 Abbildungen. M. 14.60.

II. Band. **Lehrbuch der Geschlechtskrankheiten.**

87 Abbildungen. M. 10.40.

Auszüge aus Besprechungen:

Der Verfasser des bekannten und von allen Seiten geschätzten Lehrbuches der Syphilis hatte gewissermassen die Pflicht, uns auch ein Lehrbuch der Hautkrankheiten zu bringen. Dieses dem Verleger schon vor Jahren gegebene Versprechen ist nun endlich zur Ausführung gekommen. Wir haben damit das Werk eines gereiften Klinikers vor uns, der, mit den Hilfsmitteln der modernen klinischen Forschung ausgerüstet, uns eine glänzende Übersicht über den heutigen Stand unseres Spezialfaches gibt. Ohne sich in Weitschweifigkeiten zu verlieren, greift Lang gleich wie in seinem ausgezeichneten Buche über die Syphilis das Wichtigste heraus und führt dem Leser in kerniger, kurzer Ausdrucksweise das klinische Bild markant vor . . . Jedenfalls wird, glaube ich, jeder in der gleichen Weise wie ich von der Lektüre dieses vorzüglichen Lehrbuches befriedigt sein. 87 Abbildungen unterstützen die Diktion in sehr gelungener Weise. Wir wünschen dem Verfasser, dass dieses Werk denselben Erfolg haben möge, wie sein viel gelesenes Lehrbuch der Syphilis.

Deutsche med. Wochenschrift.

Das ganze Werk, das uns in so vollendeter Form die in langjähriger Erfahrung gewonnenen Auffassungen und Anschauungen eines als medizinisch wie spezialistisch gleich hervorragenden Forschers darbietet, können wir nicht nur dem Spezialarzte, sondern vor allem dem praktischen Arzte und dem Studenten empfehlen; jeder wird Belehrung und Anregung finden. Und gerade die Praktiker werden das finden, was sie für die Arbeit des Tages nötig haben neben den wertvollen Hinweisen auf das volle und ganze Verständnis der Dermatologie als eines Teiles der gesamten Medizin. Dem Werke des hochgeschätzten Verfassers wünschen wir den Erfolg, den es durch seine Bedeutung verdient.

Wolters (Rostock) in Archiv für Dermatologie.

Leitfaden
für
Unfallgutachten.
Ein Hilfsbuch

zur

Untersuchung und Begutachtung Unfallverletzter und traumatisch Erkrankter.

Von

Dr. **Karl Waibel**, Bezirksarzt in Kempten.

Mk. 8.—. Gebunden Mk. 9.—.

Nach dem übereinstimmenden Urteile verschiedener hervorragender Ärzte der Fachpresse dürfte sich das vorliegende Werk als sehr zeit- und zweckmässig erweisen und wegen seiner Übersichtlichkeit, Reichhaltigkeit und Handlichkeit bald in dem Kreise der beamteten und praktischen Ärzte sowie der Berufsgenossenschaften als willkommener und praktischer Führer und Berater einbürgern.

Soeben erschien:

Lehrbuch der Atmungsgymnastik.

Anleitung zur Behandlung von
Lungen- Herz- und Unterleibsleiden.

Von

Dr. med. Henry Hughes,

Arzt in Bad Soden am Taunus.

==== Zweite, aufs doppelte vermehrte Auflage. ====

Mit 47 Abbildungen. — Preis: Mk. 4.—

Auszüge aus Besprechungen über die 1. Auflage des Werkes.

„Das vorliegende Werk bestrebt sich, die Atmungsgymnastik — die bisherigen Vorschriften von Oertel und Zander ergänzend — wissenschaftlich zu begründen und zu verwerthen. Wir können dem Bestreben des Verfassers nur Anerkennung zollen und halten mit dem Buche eine Lücke in der Literatur für ausgefüllt. Demgemäß wünschen wir dem Buche eine rechte weite Verbreitung. Vor allen Dingen begrüßen wir es freudigst, daß der Verfasser nicht nur die einzelnen Übungen beschreibt, sondern daß er dabei stets Rechenenschaft ablegt von der Tätigkeit der an diesen Übungen beteiligten Muskeln, daß er ferner die Nomenklatur der Übungen recht einfach gestaltet und die Übungen selbst recht gut illustriert hat.

..... Alles in allem können wir das Buch nur empfehlen. Bei kritischer Anwendung im Sinne des Verfassers werden die Atemübungen sicher vielen Patienten ausserordentlich heilbringend sein“.

Zeitschrift für Chirurgie.

„..... Jedenfalls ist die Anregung, die Verfasser durch sein Buch gegeben, durchaus zeitgemäß und es wäre zu wünschen, daß das Gute der Atmungsgymnastik sorgsam festgestellt und dann Gemeingut aller Ärzte würde.“ *Schmidts Jahrbücher.*

Infolge des nicht zu unterschätzenden, oft gewaltigen Einflusses der Atmungsgymnastik auf Ausdehnungsfähigkeit der Lunge und auf die Füllung und Entleerung des Gefäßsystems und des Herzens bildet sie ein wirksames Mittel in der Hand des Arztes, besonders bei Behandlung beginnender Phthise, des Lungenemphysems mit seinen Folgezuständen und den chronischen Krankheiten des Zirkulationsapparates, wobei selbstverständlich mit Vorsicht vorgegangen werden muß. (Atheromatöse z. B. sind auszuschließen.) Eine ganze Reihe von Rezepten veranschaulichen diese Art der Therapie, von der man ohne Zweifel in manchen Fällen mehr Erfolg sehen wird als von Eisen, Digitalis und Jodkali.

Das Büchlein, das klar und einfach geschrieben ist und keinerlei übertriebene Anpreisungen der beschriebenen Methode enthält, kann den Herren Kollegen, die sich mit dieser Sorte Therapie zu beschäftigen gedenken, aufs beste empfohlen werden“.

Korrespondenzblatt für Schweizer Ärzte.

Die
psychischen Zwangsercheinungen.

Auf klinischer Grundlage dargestellt

von

Dr. L. Loewenfeld in München.

Preis Mk. 16.—.

Auszug aus dem Inhalts-Verzeichnis:

1. Kapitel. **Geschichtliches.**
2. Kapitel. **Definition der Zwangsercheinungen.**
3. Kapitel. **Einteilung der Zwangsercheinungen.**
4. Kapitel. **Zwangsercheinungen der intellektuellen Sphäre.**
 - A. Selbständige Zwangsvorstellungen.
 - B. Associative Zwangstendenzen (Zwangssuchten).
 - C. Mechanismus der Zwangsvorstellungen.
 - I. Zwangsursachen der Zwangsvorstellungen von konstantem Inhalte.
 - II. Die Zwangsursachen der associativen Zwangstendenzen. — Die Theorien Freuds, Friedmanns und Janets.
5. Kapitel. **Zwangsercheinungen der emotionellen Sphäre.**
6. Kapitel. **Zwangsercheinungen der motorischen Sphäre.**
 - A. Zwangsbewegungen und Zwangshandlungen.
 - B. Zwangshemmungen.
7. Kapitel. **Anfälle von Zwangsercheinungen.**
8. Kapitel. **Ätiologie.**
9. Kapitel. **Nosologie.**
10. Kapitel. **Verlauf und Prognose.**
11. Kapitel. **Die forense Beurteilung der Zwangsvorstellungen (Impulse).**

Allgemeine Bemerkungen; impulsive Handlungen; Diagnose der Zwangsimpulse; homizidale Impulse; Pyromanie; Kleptomanie; Wandertrieb; sexuelle Impulse.
12. Kapitel. **Prophylaxe und Therapie.**

Prophylaxe; kausale Therapie; direkte Behandlungen; medikamentöse Therapie; physikalische Heilverfahren; Psychotherapie; Anstaltsbehandlung.

Das Freudsche Verfahren nach des Autors Mitteilung. Vergleichende Würdigung dieser Methode und der Hypnotherapie.

Chirurgie der Notfälle.

Darstellung

der

dringenden chirurgischen Eingriffe

von

Dr. Hermann Kaposi.

Assistenzarzt der Chirurgischen Klinik Heidelberg.

==== Preis gebunden Mk. 5.30. ====

Obwohl in der letzten Zeit mehrere Bücher erschienen sind, die denselben Zweck verfolgen wie das vorliegende, nämlich dem praktischen Arzt als Ratgeber in dringenden Fällen zu dienen, verdient das Buch Kaposis eine besondere Beachtung, weil der Autor seine reichen praktischen Erfahrungen, die er an der Heidelberger chirurgischen Klinik gesammelt hat, im Buche vielfach verwertet und auf diese Weise ein Werk geschaffen hat, das hauptsächlich den praktischen Bedürfnissen Rechnung trägt Das Buch verdient wegen seiner Vorzüge dem praktischen Arzte aufs wärmste empfohlen zu werden.

Wiener medicin. Presse.

„Auf keinem Gebiete der Medizin kommt der Arzt so häufig in die Lage, schnelle Entscheidungen treffen zu müssen, wie auf dem der Chirurgie. Das praktische Leben stellt ihn plötzlich und unvorbereitet einem dringenden Fall gegenüber, und er muss nun seine theoretisch gewonnenen Kenntnisse ohne lange Überlegung in die Tat umzusetzen wissen, d. h. er muss operieren, wenn der Kranke nicht schwer geschädigt oder gar sterben soll.“ Das Buch ist geschickt und flott geschrieben

Schmidts Jahrbücher der Medizin.

Sexualleben und Nervenleiden.

Die nervösen Störungen sexuellen Ursprungs.

Nebst einem Anhang über

Prophylaxe und Behandlung der sexuellen Neurasthenie.

Von

Dr. Leopold Loewenfeld,

Spezialarzt für Nervenkrankheiten in München.

Dritte, völlig umgearbeitete und sehr vermehrte Auflage.

Preis: M. 6.—. Gebunden M. 7.—.

Verlag von J. F. Bergmann in Wiesbaden.

Pathologie und Therapie
der
Herzneurosen
und der
funktionellen Kreislaufstörungen.

Von
Professor **Dr. August Hoffmann**,
Nervenarzt in Düsseldorf.

Mit 19 Textabbildungen. Preis M. 7.60.

Das Asthma

sein
Wesen und seine Behandlung

auf Grund zweiundzwanzigjähriger Erfahrungen und Forschungen
dargestellt von

Dr. W. Brügelmann.

Anstaltsarzt in Südende bei Berlin (vorm. langjähriger Direktor des Inselbades).

Neue vermehrte Ausgabe.

Preis M. 4.—.

Sadismus und Masochismus

von
Dr. A. Eulenburg,
Geh. Med.-Rat, Professor in Berlin.

Preis Mk. 2.—.

Auszug aus dem Inhaltverzeichnis.

Erklärung und Ableitung der Begriffe „Sadismus“ und „Masochismus“. Ihr Wesen, ihre Bedeutung. Aktive und passive Algolagnie.

Die physiologischen und psychologischen Wurzeln der Algolagnie (des „Sadismus“ und „Masochismus“).

Die anthropologischen Wurzeln der Algolagnie. Die atavistische Theorie in ihrer Anwendung auf die algolagnistischen Phänomene. — Schema der algolagnistisch veränderten Hergänge des zentralen Nervenmechanismus. Leben und Werke des Marquis de Sade. Sein Charakter und Geisteszustand. Sacher-Masoch; der Mensch und der Schriftsteller.

Zur speziellen Symptomatologie und Entwicklungsgeschichte der algolagnistischen Phänomene.

Notzucht, Lustmord, Nekrophilie.

Aktive und passive Flagellation (Flagellantismus).

Weibliche Grausamkeit. Sadismus und Masochismus des Weibes.

Sadismus und Masochismus in der neuesten Literatur.

Literatur.

Soeben erschienen :

Die Verletzungen der Nase und deren Nebenhöhlen

nebst

Anleitung zur Begutachtung ihrer Folgezustände.

Von

Dr. med. **Friedrich Röpke**,
Ohren-, Nasen- und Halsarzt in Solingen.

Preis M. 4.60.

Chirurgie der Mundhöhle.

Leitfaden für Mediziner und Studierende der Zahnheilkunde.

Von

Privatdozent **Dr. H. Kaposi** und Prof. **Dr. G. Port**
in Heidelberg.

— Mit 111 Abbildungen im Text. — Preis Mk. 6.—. —

Methodik der Chemischen und mikroskopischen Untersuchungen am Krankenbette.

Von

Dr. H. P. T. Oerum, Privatdozent in Kopenhagen.

Mit 20 Abbildungen im Text und 9 Tafeln. — Geb. Mk. 3.60.

Die Fettleibigkeit (Korpulenz) und ihre Behandlung

nach

physiologischen Grundsätzen.

Von

Dr. Wilhelm Ebstein.

Geheimer Medizinalrat, o. ö. Professor der Medizin und Direktor der medizinischen Klinik
und Poliklinik in Göttingen.

Achte, sehr vermehrte Auflage.

Preis Mk. 3.60, gebunden Mk. 4.60.

Die Funktionsprüfung des Darms mittels der Probekost,

ihre Anwendung in der ärztlichen Praxis
und ihre diagnostischen und therapeutischen Ergebnisse.

Von

Professor **Dr. Adolf Schmidt**,

Oberarzt am Stadtkrankenhaus Friedrichstadt in Dresden.

Mit einer Tafel. — Preis Mk. 2.40.

Verlag von J. F. Bergmann in Wiesbaden.

Vorlesungen
über die
Pathologische Anatomie des Rückenmarks.

Unter Mitwirkung

von

Dr. Siegfried Sacki, Nervenarzt in München
herausgegeben

von

Prof. Dr. **Hans Schmaus**, München.

Mit 187 teilweise farbigen Textabbildungen.

Preis Mk. 16.—. Gebunden Mk. 18.—.

. . . . Die Vorlesungen von Schmaus über die pathologische Anatomie des Rückenmarkes sind das erste und einzige jetzt existierende Werk, in welchem die verschiedenen Krankheiten dieses Organes auf Grund streng anatomischer Forschung in zusammenhängender Form bearbeitet sind. . . .

. . . . Die zahlreichen, nach Originalpräparaten des Verfassers hergestellten vortrefflichen Abbildungen tragen wesentlich zum leichteren Verständnis des überaus klar und anregend geschriebenen Textes bei. . . .

. . . . Schmaus, welcher gerade in der Erforschung der pathologischen Anatomie des Nervensystems schon Hervorragendes geleistet hat, hat sich durch die Herausgabe des vorliegenden Werkes ein grosses Verdienst und damit gewiss auch den Dank nicht nur aller Fachgenossen, sondern auch der Kliniker und Ärzte erworben; denn tatsächlich wird durch das ausgezeichnete Werk eine empfindliche Lücke in der medizinischen Literatur endlich ausgefüllt. *Professor Hauser i. d. Münchener med. Wochenschrift.*

Die Leitungsbahnen
des
Gehirns und des Rückenmarks

nebst

vollständiger Darlegung des Verlaufes und der Verzweigung der Hirn- u. Rückenmarksnerven

von

Dr. **Rudolf Glaessner**, Prag.

— Mit 7 farbigen Tafeln. Mk. 3.—. —

Taschenbuch
der
Medizinisch-klinischen Diagnostik.

Von

Dr. Otto Seifert,
Professor in Würzburg

und

Dr. Friedr. Müller,
Professor in München.

Elfte gänzlich umgearbeitete Auflage.

Mit Abbildungen. In englischem Einband. Preis Mk. 4.—.

Nunmehr ist vollständig erschienen:

Osmotischer Druck und Ionenlehre

in den

medizinischen Wissenschaften.

Zugleich

Lehrbuch physikalisch-chemischer Methoden.

Von

Dr. chem. et med. **H. J. Hamburger**,
Professor der Physiologie an der Reichsuniversität Groningen.

- Band I: **Physikalisch-Chemisches über osmotischen Druck und elektrolytische Dissoziation.** — Bedeutung des osmotischen Drucks und der elektrolytischen Dissoziation für die Physiologie und Pathologie des Blutes. *Preis Mk. 16.—. Gebunden Mk. 18.—.*
- Band II: **Zirkulierendes Blut. Lymphbildung.** — Ödem und Hydrops-Resorption. — Harn und sonstige Sekrete. Elektrochemische Aziditätsbestimmung. Reaktions-Verlauf. *Preis Mk. 16.—. Gebunden Mk. 18.—.*
- Band III: **Isolierte Zellen.** — Kolloide und Fermente. — Muskel- und Nervenphysiologie. — Ophthalmologie. — Geschmack. — Embryologie. — Pharmakologie. — Balneologie. — Bakteriologie. — Histologie. *Preis Mk. 18.—. Gebunden Mk. 20.—.*

Mit diesem Werk ist der Groninger Physiologe, dem wir eine Reihe wertvoller physikalisch-chemischer Arbeiten über das Blut verdanken, einem wahren Bedürfnis entgegengekommen

. . . . In meisterhafter Weise hat es Hamburger verstanden, das ausgezeichnete Gebiet so zu bearbeiten, dass jede einzelne Frage für sich in objektiv-kritischer Weise gesichtet und für den Leser, der sich rasch zu orientieren wünscht, in zusammenfassender Weise beantwortet ist. Es ist überraschend, wie die wichtigsten Fragen der physiologischen und klinischen Hämatologie unter dem Einflusse der physikalischen Chemie in neue Beleuchtung gerückt sind

. . . . Sehr wertvoll ist auch die Aufnahme aller für den Laboratoriumsgebrauch wichtigen Zahlen in Tabellenform. Das Buch wird allen, die sich mit diesen Fragen beschäftigen, unentbehrlich sein. *Münch. med. Wochenschr.*

Die Lehre von den Geschwülsten. Mit einem mikroskopischen Atlas (63 Tafeln mit 296 farbigen Abbildungen). In zwei Bänden von Dr. Max Borst, Professor an der Universität Göttingen. M. 50.—, gebunden M. 53.20.

Über das psychische Verhalten des Arztes und Patienten vor, bei und nach der Operation. Von Prof. Dr. Klaussner in München. M. 1.—.

Handbuch der embryologischen Technik. Von Dr. med. Paul Röhlig, früherer Assistent am anatomisch-biologischen Institut Berlin. Mit 34 Abbildungen. M. 10.60

Soeben erschien:

Mikroskopie der Harnsedimente.

Von Dr. Albert Daiber, Stuttgart.

Zweite umgearbeitete und vermehrte Auflage.

Mit 106 Abbildungen auf 59 Tafeln. — Preis M. 12,60.

Auszüge aus Besprechungen über die erste Auflage:

..... Es fehlt nicht an trefflichen Bildwerken, deren Inhalt im wesentlichen unserem Titelthema entspricht. Nichtsdestoweniger haben wir es dem Autor zu danken, dass er auf dem Gebiete der Uroskopie an die Öffentlichkeit mit einer neuen klinischen Diagnostik getreten ist, der kein Unbefangener die Vorzüge einer in bezug auf bildliche Darstellung sehr willkommenen Reichhaltigkeit und Originalität — die meisten Abbildungen sind selbstbeobachtete — sowie eines sehr mässigen Preises absprechen wird.

..... Alles in allem ein vortrefflich ausgestattetes Werk, das dem physiologischen und bakteriologischen Laboratorium in Zürich zur Ehre gereicht und sich zahlreichen Kollegen als hilfsbereiter Führer erweisen wird.

„Deutsche Med. Wochenschrift.“

..... Der vortrefflich ausgestattete, reichhaltige Atlas verdient lebhaft Empfehlung und weite Verbreitung um so mehr, als auch der begleitende, erklärende Text in knapper Form und wünschenswerter Vollständigkeit über Vorkommen bezw. Darstellung der einzelnen Sedimentbildner orientiert.

„Berliner Klin. Wochenschrift.“

Die Anwendung des Lichtes in der Medizin

mit besonderer Berücksichtigung von

Professor Finsens Lebenswerk.

Von Dr. Valdemar Bie in Kopenhagen.

Mit 22 Abbildungen im Text und einem Porträt von Professor Finsen. — M. 2,40.

Auf dem Titelblatt steht: „Mit besonderer Berücksichtigung von Prof. Finsens Lebenswerk.“ Es ist das Werk eines Schülers von Finsen, das ich besonders deshalb „pietätvoll“ nennen möchte, weil es in so einfacher, jeder überflüssigen Weitschweifigkeit entbehrender Weise die ganze Arbeit Finsens wiedergibt. Wer die Mitteilungen aus Finsens Lichtinstitut gelesen, wer im Finseninstitut mit den dort arbeitenden Herren verkehrt hat, wird begreifen, wenn ich die ja jedem wirklich grossen Werke und wirklich grossen Manne anhaftende Einfachheit so besonders betone.

In 9 Abschnitten behandelt Bie zunächst eine physikalische Einleitung, dann die Wirkungen des Lichtes auf die Haut, die inzitierende und psychische Wirkung des Lichtes, den Einfluss des Lichtes auf den Stoffwechsel, die Wirkung auf das Blut, die Fähigkeit in den Körper einzudringen, die Wirkung auf Bakterien, die hygienische Bedeutung des Lichtes und schliesslich: Finsens Behandlung bakterieller Hautkrankheiten mit konzentrierten chemischen Lichtstrahlen.

Es dürfte sich kaum irgendwo so kurz und klar eine Zusammenstellung alles Wissenswerten über die bezeichneten Abschnitte finden.

Das Buch ist ein kleines, aber würdiges Denkmal, das ein tüchtiger Schüler einem genialen Meister gesetzt hat. v. Düring (Kiel) i. d. Medizin. Klinik.

Gefrierpunkts- und Leitfähigkeitsbestimmungen.

Ihr praktischer Wert für die innere Medizin.

Von

Privatdozent Dr. S. Schoenborn, Heidelberg.

Preis: M. 1,60.

Soeben erschien:

Immunität und Disposition

und ihre
experimentellen Grundlagen.

Von

Dr. Martin Jacoby,

Privatdozent an der Universität Heidelberg.

Mit zwei Kurven und fünf Abbildungen im Text.

Preis: Mk. 4.60.

Aus dem Vorwort:

Dieses Buch soll den Leser vor allem mit den Beobachtungen auf den Gebieten der Immunitäts- und Dispositionsforschung vertraut machen und ihn in den Stand setzen, scharf die experimentell festgestellten Tatsachen von den Schlüssen und Hypothesen zu scheiden. Das Hauptgewicht habe ich auf die prinzipiellen Punkte gelegt, die Hypothesen insoweit ausführlich erörtert, als sie zu präzisen Fragestellungen anregen und damit dem Experimentator die Wege bahnen.

Bei einer so jugendfrischen Wissenschaft kann natürlich kaum irgendwo Abgeschlossenes geboten werden. Alles ist noch in Gärung. Es scheint aber besonders reizvoll, Fragen näher zu treten, deren Bedeutung für den Fortschritt der Wissenschaft beständig zunimmt. Schon jetzt kann ein Arzt der Entwicklung der Medizin nicht mehr folgen, ohne die Grundzüge der Immunitätslehre zu studieren.

Aus dem Inhaltsverzeichnis:

Einleitung.

Literatur.

- I. Die Immunisierungsmethoden.
 - II. Die Antitoxine und Immunisierung mit Hilfe von Antitoxinen.
 - III. Die Toxine.
 - IV. Zur Toxikologie der Toxine.
 - V. Die Antikörperbildung als sehr verbreitete Reaktion.
 - VI. Über die Reaktionen zwischen Antigenen (Antikörperbildung auslösenden Substanzen) und Antikörpern.
 - VII. Über die Entstehung der Antikörper.
 - VIII. Die Lysine und andere Cytotoxine.
 - IX. Die Präzipitine.
 - X. Die Agglutinine.
 - XI. Die cytotropen Substanzen.
 - XII. Die Fermente und Antifermente.
 - XIII. Immunität gegen Stoffe von bekannter chemischer Konstitution.
 - XIV. Die Vererbung der Disposition und Immunität.
 - XV. Über die verschiedenen Ursachen der Disposition und Immunität.
 - XVI. Hinweis auf Beziehungen der Immunitätsvorgänge zur klinischen Medizin.
 - XVII. Ehrlichs Hypothesen.
 - XVIII. Metschnikoffs Phagozytenlehre.
 - XIX. Die Immunisierungsmethoden der Praxis und die spezifische Behandlung von Krankheiten.
 - XX. Die Immunisierung und spezifische Behandlung bei Tuberkulose.
 - XXI. Die Behandlung der Lyssa.
 - XXII. Die Schutzimpfung gegen die Pocken.
 - XXIII. Die Immunisierung und spezifische Behandlung bei Milzbrand.
 - XXIV. Die Immunisierung bei Typhus, Pneumokokkenerkrankungen und Dysenterie.
 - XXV. Das Diphtherie-Heilserum und die Prüfungsmethoden für die Heilsera.
- Zusammenfassung.

Grundriss der medikamentösen Therapie der
Magen- und Darmkrankheiten einschliesslich Grund-
züge der Diagnostik.

Von Dr. med. P. Rodari in Zürich.

Mk. 3.60.

Handbuch der embryologischen Technik. Von

Dr. med.

Paul Röthig, früher Assistent am anatomisch-biologischen Institut Berlin.
Mit 34 Abbildungen.

Mk. 10.60.

Otitis Media der Säuglinge. Bakteriologische und anatomische

Studien. 4°. 40 Tafeln und Text.

Von Privatdozent Dr. H. Preysing in Leipzig. In Mappe. Mk. 27.—.

Einführung in die experimentelle Entwickelungsgeschichte. (Entwickelungsmechanik.)

Von Prof. Dr. O. Maas in München. Mit 135 Figuren im Text. Mk. 7.—

Praktischer Leitfaden der quantitativen und
qualitativen Harnanalyse nebst Analyse des
Magensaftes. Von Dozent Dr. Sigmund Fränkel in Wien.

Gebunden Mk. 2.40.

Chirurgie der Notfälle. Von Dr. H. Kaposi. Darstellung der

dringenden chirurgischen Eingriffe.

Geb. Mk. 5.30.

Leitfaden für Unfallgutachten. Von Dr. K. Waibel. Ein

Hilfsbuch zur Untersuch.

und Begutachtung Unfallverletzter und traumatisch Erkrankter.

Mk. 8.—, gebunden Mk. 9.—.

Chemie und Physiologie der Milch. Von Dr. R. W.

Raudnitz und Dr.

K. Basch in Prag. (Sonderdruck aus „Ergebnisse der Physiologie“ herausgegeben von L. Asher in Bern und K. Spiro in Strassburg II. Jahrgang.)

Mk. 4.—.

Physiologie des Alpinismus. Von Professor Dr. Otto Cohn-

heim in Heidelberg. (Sonder-

druck aus „Ergebnisse der Physiologie“ herausgegeben von L. Asher in Bern und K. Spiro in Strassburg. II. Jahrgang.)

Mk. —.60

Soeben erschien:

Die
Allgemeine Pathologie.

Ein Hand- und Lehrbuch

für

Ärzte und Studierende.

Von

Professor Dr. O. Lubarsch in Zwickau.

I. Band. I. Abteilung.

Mit 72 Abbildungen im Text und 5 Tafeln.

Mk. 7.—.

Sein ausgedehntes Wissen und seine reiche Erfahrung legt Lubarsch in diesem seinen neuesten, gross angelegten Werke, dessen erster Band, Abteilung 1, die allgemeine Pathologie der Zelle, die lokalen und allgemeinen Kreislaufstörungen umfasst, nieder. Als Hand- und Lehrbuch gedacht, soll dasselbe nicht nur dazu dienen, die Jünger der medizinischen Wissenschaft in die Ergebnisse der allgemeinen pathologischen Forschung einzuführen, sondern auch Ärzten und Fachleuten als Ratgeber zur Seite stehen. Um diesen Anforderungen zu genügen und insbesondere die Verbindung mit der praktischen Krankheitslehre herzustellen, hat der Verf. seine Betrachtungen auch auf das Gebiet der allgemeinen pathologischen Physiologie ausgedehnt. Durch eine sehr zweckmässige Einteilung gelingt es Lubarsch, die Schwierigkeiten, welche sich der Bewältigung eines zu so grossem Umfange angewachsenen Stoffes entgegenstellen könnten, mit Erfolg zu überwinden, so dass es dem Leser nicht schwer fällt, sich in dem so überaus reichhaltigen Werke zurechtzufinden. Soweit sich aus dem vorliegenden Bande urteilen lässt, steht sein Inhalt, wie bei Lubarsch nicht anders zu erwarten ist, auf der Höhe der modernen Forschung, ohne dabei die älteren Theorien und Anschauungen, sofern sie dem wissenschaftlichen Ausbaue der Kenntnisse und Erfahrungen auf dem Gebiete der allgemeinen Pathologie förderlich waren, zu vernachlässigen. Obwohl das Werk schon hierdurch den weitgehendsten Anforderungen nach erschöpfender Behandlung des Stoffes gerecht zu werden vermag, ist dem Leser durch eine umfassende Literaturangabe am Schlusse der einzelnen Kapitel Gelegenheit geboten, die einschlägigen Quellenwerke kennen zu lernen. Überdies erfährt der Text eine wertvolle Ergänzung durch eine Anzahl sorgfältig ausgewählter und gewissenhaft reproduzierter Abbildungen. Dank der geschilderten Vorzüge steht zu erwarten, dass das so glücklich begonnene Werk die in der Literatur der allgemeinen Pathologie durch den Mangel eines das Gesamtgebiet dieses Wissenschaftszweiges umfassenden Handbuchs bisher noch fühlbar gewesene Lücke ausfüllen werde.

Wiener klin. Wochenschrift.

